

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

016082250

WPI Acc No: 2004-240122/200423

XRPX Acc No: N04-190331

In site bus control system based on controlling local total circuit  
Patent Assignee: CHONGQING IRON & STEEL GROUP CO (CHON-N)

Inventor: FU S

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
CN 1466023	A	20040107	CN 2002133357	A	20020624	200423 B

Priority Applications (No Type Date): CN 2002133357 A 20020624

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
CN 1466023	A		G05B-015/00	

Abstract (Basic): CN 1466023 A

NOVELTY - The invention discloses a spot- bus control system based on the control local-area total line, its character: the analog signals: temperature, flow, pressure, etc., as well as the switch signals like limit switch, position switch, etc., are converted by the module into digital signals, which transmitted to CAS bus , then reaching PC through the adapter, and after processed by the industrial configuration software, sent to the CAN bus through the adapter, the analog and switch quantum output modules convert the digital signals from the CAN bus into analog signals and switch quanta, respectively, the analog signals controlling the actuators like valve and the switch quanta controlling the equipment like brake valve, electric machine, etc.

DwgNo 0/0

Title Terms: SITE; BUS ; CONTROL; SYSTEM; BASED; CONTROL; LOCAL; TOTAL;  
CIRCUIT

Derwent Class: T06; W01

International Patent Class (Main): G05B-015/00

International Patent Class (Additional): G05D-027/00; H04L-012/28

File Segment: EPI

Manual Codes (EPI/S-X): T06-A07A; T06-B14 ; W01-A06B1; W01-A06B5A

# KORRIGERT UTGAVE/CORRECTED VERSION



## (12) PATENT

(19) NO

(11) 313677

(13) B3

(51) Int Cl<sup>7</sup>

G 05 D 7/06, 27/00, E 21 B 12/00

### Patentstyret

### Avvik fra Patent C etter administrativ begrensning

(21) Søknadsnr	20006208	(86) Int. inng. dag og
(22) Inng. dag	2000.12.06	søknadsnummer
(24) Lepedag	2000.12.06	(85) Videreføringsdag
(41) Alm. tilgj.	2002.06.07	(30) Prioritet
(45) Meddelt dato	2002.11.11	Ingen
(45) Administrativ begrensning	2004.01.26	

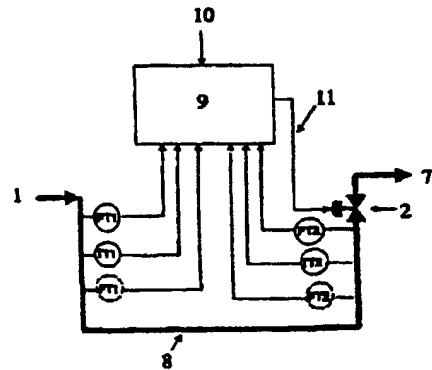
(71) Patenthaver ABB Research Ltd,  
c/o ABB AS, Corporate Research Center, Postboks 90, 1375 Billingstad, NO  
(72) Oppfinner Kjetil Havre, 2019 Skedsmokorset, NO  
(74) Fullmektig Oslo Patentkontor AS, 0306 Oslo

(54) Benevnelse Slug kontrollering

(56) Anførte publikasjoner US 5494067  
Pål Hedne og Harald Linga: "Suppression of terrain slugging with automatic and  
manual riser choking", Advances in Gas-Liquid Flows 1990

### (57) Sammendrag

Foreliggende oppfinnelse vedrører en fremgangsmåte for å stabilisere en flerfasestromming gjennom en rørledning (8), et stigerør eller en brønn. Oppfinnelsen særpreges ved at en dynamisk tilbakekoblet regulator (9) styrer en reguleringventil eller strueventil (choke) (2) ved utløpet (13) av rørledningen eller stigerøret (8).



~~KORRIGERT UTGAVE/CORRECTED VERSION~~

**Oppfinnelsens felt**

Den foreliggende oppfinnelsen vedrører en fremgangsmåte for å stabilisere en flerfasestrømning gjennom et rør, så som en rørledning, et stigerør eller en oljebrønn hvor slugger s forårsaker ustabilitet i flerfasestrømningen. Oppfinnelsen vedrører også et dataprogram som utfører metoden.

**Oppfinnelsens bakgrunn**

Olje som produseres til sjøs transporteres gjennom rørledninger som en blanding av olje, gass, vann og sand. Et vanlig strømningsregime kalles **sluggstrømning** hvilket innebærer at blandingen skiller seg slik at væske danner konsentrerte plugger som strømmer støtvis. En slik konsentrert plugg betegnes heretter en **slugg**.

I flerfaserørledninger, stigerør og brønner vil det kunne oppstå ustabiliteter i form av terreng- og stigerørsindusert sluggstrømning når strømningsraten reduseres i forhold til det rørledningen er konstruert for. I en slik strømning vil en væskeplugg som forflytter seg i røret være etterfulgt av gass.

Terreng- og stigerørs indusert sluggstrømning kalles gjerne **hard slugging**. Terreng og stigerørsindusert strømning oppstår periodisk ettersom væske i form av olje og vann akkumuleres i lavere deler av rørledingen eller stigerøret, se figur 11-IV. Ved en gitt tid vil væsken hindre gassen å passere. Selv om en liten del av gassen bobler gjennom væskepluggen, vil likevel hoveddelen av gassen akkumuleres oppstrøms væskepluggen. Dette fører til at trykket øker (se figur 11-I). Nå er trykket oppstrøms væskepluggen lik trykket nedstrøms pluss det hydrostatiske trykkfallet over væskepluggen (gitt av stasjonær kraft-balanse). Når trykket oppstrøms væskepluggen øker mer enn trykket nedstrøms pluggen, vil væsken starte å bevege seg (se figur 11-II). Væsken blir da en slugg som akselereres. Merk at denne situa-

sjonen må inntreffe før fronten av væskepluggen når det høyeste punktet ved rørets utløp.

Avhengig av operasjonelle betingelser og rørledningens profil, vil sluggen dø ut eller transporteres til utløpet av 5 rørledningen eller stigerøret. Når enden av væskepluggen ankommer de vertikale deler av røret (figur 11-III), vil væskeraten øke hurtig grunnet den ustabile situasjonen hvor trykket som følge av væskesøylen minker. En slagg er dannet og sluggen forflyttes til utløpet av røret. Når gassen bak 10 væskepluggen når utløpet, vil gjenværende væske i den vertikale delen strømme til bunnen av stigerøret eller til lavpunkter på røret. Deretter gjentas hele prosessen, og resultatet er en ustabil syklus hvor væskeraten varierer mellom stillstand og store hastigheter i løpet av kort tid 15 som følge av at sluggen passerer et definert sted i røret. Den beskrevne oppførsel er typisk for hard slugging (terreng eller stigerørsindusert slugging). For terregindusert slaggstrømning vil væskepluggene være forårsaket av terregnprofilet (på land eller på sjøbunn), mens for stigerørsindusert slugging er forårsaket av at røret forlater sjøbunnen mot overflaten (til sjøs). For lange stigerør oppstår spesielle dynamiske effekter som følge av faseovergang fra væske til gass som følge av trykkreduksjonen i stigerøret. Utformingen av stigerøret vil også ha betydning 20 for dynamikken til stigerørsindusert slugging.

Ustabil strømning forårsaker store problemer for produksjon i brønner oppstrøms røret, så vel som drift av nedstrøms prosessutstyr:

- o Store forstyrrelser i separasjonstoget forårsaker:
  - o Redusert kapasitet i separator på grunn av at man trenger større operasjonsrom for å oppnå tilstrekkelig separasjon

o Dårlig separasjon (for mye vann i olje) på grunn av varierende innstrømning til separator

5

o Dårlig separasjon kan også resultere i vari- erende oljeinnhold i vannet fra separatorene, noe som igjen fører til problemer for nedstrøms vann- behandlingsutstyr. Dette kan også føre til ut- slipp utover pålagte grenseverdier gitt av miljø- krav.

10

o Store og raske variasjoner i kompressorlast fører til:

o Ueffektiv drift av kompressoren

15

o Begrenset kompressor kapasitet på grunn av større nødvendige marginer for å kunne ta unna gassmengden etter væskepluggene.

20

o Fakling som følge av begrenset kompressorka- pasitet

o Begrenset produksjon fra brønnene. Trykkvariasjonene i rørledningen eller stigerøret påvirker også brønnene som produserer inn i røret. Brønner som er ømfintlig for mottrykk vil kunne produsere mindre.

Metoder for å hindre slugging eller reduksjon av følgene av slugging kan deles i fire hovedkategorier:

25

1. Konstruksjonsendringer
2. Operasjonsendringer
3. Prosedyrer
4. Styring

30

- o Foroverkobling til separator
- o Strupe innløpsventil ved slugging
- o Aktiv sluggingstyring

Et eksempel på en typisk metode for å håndtere slugger som involverer konstruksjonsendring, er installasjon av slagg fangere (oftest brukt på land). Et annet eksempel er å øke størrelsen av første trinns separator for å øke bufferkapasiteten i anlegget. For allerede eksisterende installasjoner hvor slaggstrømning er et problem, og for små separatører vil slike konstruksjonsendringer ha begrenset effekt på stabilitet av strømningen.

Et eksempel på en operasjonell endring er å strupe innløpsventilen inntil operasjonspunktet er utenfor det ustabile området.

Prosedyrer er regler for drift som utføres av operatør. Slike prosedyrer brukes ofte i forbindelse med oppstart av rørledning, stigerør eller brønn.

15 Styring omfatter:

Foroverkobling til separatorens styresystem slik at sluggen bekjempes i separatoren.

Patentet US 5.544.672 angir en metode for strupning av innløpsventilen. Metoden utnytter målinger nedstrøms stedet sluggen genereres og struper innløpsventilen når en slagg har oppstått.

Med konvensjonelle metoder for styring av slugger menes vanligvis strupning eller foroverkobling.

I gassløftede oljebrønner kan det oppstå et problem som 25 kalles ringrom-trykksvingning ("casing heading"). Gassløftede oljebrønner skiller seg fra rørledninger, stigerør og brønner på følgende måte:

30        o Dynamisk interaksjon ved ringroms-trykksvingning skjer mellom ringrommet (som leder gass til injeksjonspunktet), og produksjonsrøret.

o For gassløftede oljebørnner kan gassinjeksjonsraten benyttes til styring, noe som gir økte muligheter .

I lys av problemstillingene nevnt ovenfor har oppfinneren funnet at det er et behov for mer effektiv metode for stabilisering av flerfasestrømning utsatt for slugging.

5

**Sammendrag av oppfinnelsen**

Et formål med foreliggende oppfinnelse er å tilveiebringe en metode som stabiliserer flerfasestrømning i et rør hvor ustabilitet er forårsaket av minst en slagg. Måling av 10 trykk eller temperatur utføres oppstrøms det punkt hvor hoveddelen av sluggen dannes. Målingen forsynes en dynamisk tilbakekoblet regulator som styrer minst en reguleringsventil.

Med rør menes en linje som transporterer en blanding av 15 olje, gass og vann så som en rørledning, et stigerør eller et produksjonsrør i en brønn.

Et annet formål med oppfinnelsen er å tilveiebringe et dataprogram som utfører den over nevnte metode, inkludert anvendelsen av en styringsstrategi, så som en dynamisk tilbakekoblet regulator.

Med reguleringsventil menes en ventil eller strupeventil som er utstyrt med en aktuator som muliggjør automatisk styring, så som en elektrisk motor med posisjonsstyring, en steppermotor eller en pneumatisk aktuator.

25 Et fortrinn med oppfinnelsen i forhold til konvensjonelle metoder er at den reduserer antall ganger det oppstår slagger i en linje. Slik sett fører oppfinnelsen til at energi utnyttes mer effektivt til transport av gass-olje-vannblanding. Dette til forskjell fra å la energi unnslippe 30 systemet i form av utblåsninger når slagger forlater linjens utløp, så som utløpet av et stigerør.

Et annet fortrinn med oppfinnelsen er at den gir jevnere operasjonsbetingelser for prosessanlegget for olje og/eller gass.

Enda et annet fortrinn med oppfinnelsen er at den sammen-  
5 lignet med konvensjonelle metoder gir redusert trykk ved rørets innløp.

Et ytterligere fortrinn med oppfinnelsen er at den til forskjell fra konvensjonelle metoder som medfører konstruksjonsendringer, ikke krever nytt prosessutstyr for å realiseres. Det antas at det finnes tilgjengelige prosessmåling-  
10 er langs rørledningen. Det antas også at det er minst én reguleringsventil i rørledningen.

Det er et formål med oppfinnelsen å tilveiebringe en metode som anvender en dynamisk tilbakekoblet regulator med flere  
15 innganger og én utgang. Regulatoren opererer som funksjon av periodiske variasjoner i de målte variable.

Videre er det et formål med oppfinnelsen å stabilisere flerfasestrømningen på et hvilket som helst punkt i rørled-  
ningen.

20 De over nevnte målsetninger og formål ifølge oppfinnelsen oppnås ved hjelp av de trekk som er angitt i patentkravene 1-16. Særskilt nevnes at en metode for stabilisering av flerfasestrømning gjennom en rørledning hvor ustabilitet av flerfase strømningene er forårsaket av minst en slagg er  
25 angitt i det selvstendige krav 1, et data program er angitt i det selvstendige krav 14 og bruken av et slikt dataprogram er angitt i det selvstendige krav 16.

#### Kort beskrivelse av figurene

Figur 1 viser skjematisk oversikt av en rørledning, så som  
30 et produksjonsrør mellom en brønnhodeplattform og en pro-  
duksjonsplattform.

Figur 2 viser en skjematisk oversikt av en implementert reguleringsalgoritme for aktiv tilbakekoblet styring av sluggstrømning i en rørledning,

Figur 1 og 2 er bare skjematiske og gir således ingen informasjon om målepunktenes plassering i forhold til hverandre.

Figur 3 viser de forskjellige blokker som er involvert i en implementert reguleringsalgoritme for aktiv tilbakekoblet styring av en rørledning.

Figur 4 viser de forskjellige styringsmodi samt transisjonene mellom dem i en implementert reguleringsalgoritme for aktiv tilbakekoblet styring av en rørledning.

Figur 5 viser flerfasesimuleringer av terrengindusert sluggstrømning. Figurens øvre del viser trykket PT1 ved et innløp, så som et rørledningsinnløp, samt trykket PT2 ved utløpet. Figurens nedre del viser strømningshastighetene ved utløpet av rørledningen.

Figur 6 viser flerfasesimuleringer av terrengindusert sluggstrømning. Hver linje i profildiagrammet representerer væskevolumfraksjonen som en funksjon av avstand langs rørledningen med ett minutts intervaller.

Figur 7 viser flerfasesimulering av terrengindusert sluggstrømning med sluggstyring. Figurens øvre del viser et trykk P1 ved innløpet og et trykk P2 ved utløpet, den midtre del viser strømningsrater ved utløpet, mens den nedre del viser regulatorens utgangssignal U1 til rørledningens ventil 2.

Figur 8 viser flerfasesimuleringer av terrengindusert sluggstrømning med sluggstyring. Profildiagrammer av væskevolumfraksjon i rørledningen for tidsintervallet 41 til 45 timer er vist. Totalt er det 240 profildiagrammer som alle

ligger oppå hverandre. Dette indikerer at rørledningen er stabilisert.

Figur 9 viser oppstart av sluggregulering og operasjon av en rørledning, så som en transportrørledning. Figurens øvre 5 del viser innløpstrykk  $P_1$  og utløpstrykk  $P_2$  sammen med et 12 timers glidende gjennomsnitt av de samme variable.

Figur 10 viser oppstart av sluggregulering og operasjon av en rørledning, så som en transportrørledning. Figurens øvre 10 del viser gassrate ved innløpet mens nedre del viser væskerate ved innløpet. Både 30 minutters og 8 timers glidende gjennomsnitt av de samme variable er vist. De manglende strømningsrater i begynnelsen av tidsintervallet skyldes at brønnstrømmene på det tidspunkt omgikk testseparatoren hvor målingene ble utført.

15 Figur 11 viser de fire trinnene i en hard slugg-syklus.

Figur 12 viser et profil av en dypvannsrørledning med stigerør.

Figur 13 viser hard stigerørsindusert sluggstrømning i et dypvannsstigerør, tilfelle 1.

20 Figur 14 viser virkningen av strupning av hard stigerørsindusert sluggstrømning, tilfelle 1.

Figur 15 viser virkningen av strupning av hard stigerørsindusert sluggstrømning, tilfelle 1.

25 Figur 16 viser profildiagrammer av væskevolumfraksjon gjennom en stigerørsindusert slugsyklus, tilfelle 1.

Figur 17 viser effekt av strupning av hard stigerørsindusert sluggstrømning, tilfelle 2.

Figur 18 viser profildiagrammer av væskevolumfraksjon gjennom en stigerørsindusert slaggzyklus, tilfelle 2.

Figur 19 viser oppstart, drift og stopp av slaggregulator for et dypvannsstigerør, tilfelle 1.

5 Figur 20 viser profilplot av rørledningens væskevolumfraksjon når regulatoren er i drift, tilfelle 1.

Figur 21 viser oppstart, drift og stopp av slaggregulator for et dypvannsstigerør, tilfelle 2.

10 Figur 22 viser profilplot av rørledningens væskevolumfraksjon når regulatoren er i drift, tilfelle 2.

**Detaljert beskrivelse av en foretrukket utførelse**

15 Figur 2 viser en aktiv tilbakekoblet regulator, så som en dynamisk tilbakekoblet regulator 9, for stabilisering av en flerfasestrømning (væske og gass) gjennom en rørledning eller et stigerør 8 mellom en brønnhodeplattform 1 og en produksjonsplattform 7. Løsningen er ikke begrenset til rørledninger fra brønnhodeplattformer til produksjonsplattformer, men er anvendbar for en hvilken som helst rørledning, så som fra en undervanns bunnramme.

20 En dynamisk tilbakekoblet reguleringsalgoritme 9 er implementert for å stabilisere strømningen gjennom rørledningen/stigerøret 8 ved å utnytte reguleringsventilen eller strupeventilen 2 som er automatisk styrt. Figur 2 indikerer dette.

25 Tilnærmingen i henhold til den foreliggende oppfinnelse kan bruke de følgende målte størrelser som innganger:

- Trykkmåling PT1 ved innløpet 12 eller et sted oppstrøms utløpet 13 som måler trykkvariasjoner oppstrøms væskepluggen.

- Trykkmåling PT2 ved utløpet 13, oppstrøms reguleringsventilen 2.
  - Differansetrykk over rørledningen 8, eller del av rørlednigen, basert på de to målingene PT1 og PT2.
  - 5 ▪ Strømningsmålinger FT1 ved innløpet 12, eller et sted oppstrøms utløpet 13, som mäter variasjoner i strømningsrate oppstrøms væskepluggen.
  - Strømningsmålinger FT2 ved utløpet 13, oppstrøms reguleringsventilen 2.
- 10 Målingene kan gjøres over vann så vel som under vann.

Alle disse målingene er ikke nødvendige, men flere målinger fører til bedre regulering. Imidlertid er det nødvendig å ha trykkmåling PT1, eller en temperaturmåling oppstrøms enhver væskeplugg.

- 15 Oppfinnelsen angir en metode som består av anvendelsen av dynamisk tilbakekoblet regulering. Forskjellen mellom en dynamisk tilbakekoblet regulering ifølge foreliggende oppfinnelse og tradisjonelle reguleringsmetoder omfatter bruken av målinger oppstrøms for det stedet i rørledningen der slugger dannes. Mens andre metoder har en dempende effekt, 20 vil en dynamisk tilbakekoblet styring forbedre stabiliteten til strømningen i rørledningen. En fordel med dynamisk tilbakekoblet styring er et redusert innløpstrykk til rørledningen.
- 25 Forbedret regulering kan oppnås ved å innbefatte flere målinger (strømningsrate, tetthet og temperatur), som angitt i figur 2. Dersom ratemålinger benyttes vil estimater av strømningsforholdene i rørledningen/stigerøret/brønnen 8 bli bedre.

Dersom det skjer en feil, vil utgangen 11 gå til en predefinert verdi.

Det er vist både ved simulering og utprøvning i felt at regulatoren 9 stabiliserer flerfasestrømning. Simuleringer 5 viser at regulatoren 9 stabiliserer variable (trykk, temperatur, fylningsgrad, og strømningsrate) i rørledningen på ethvert punkt i ledningen/stigerøret 8. Dette innebærer at regulatoren 9 i motsetning til konvensjonelle regulatorer ikke utelukkende er begrenset til å stabilisere utløpet 13 10 av rørledningen.

sammen med den dynamiske tilbakekoblede regulatoren 9 har 15 det blitt utviklet en algoritme for slaggdeteksjon. I tillegg til å utnytte de samme målingene som den dynamisk tilbakekoblede regulatoren 9, benyttes også trykkmålinger nedstrøms reguleringsventilen. Resultatet av slaggdeteksjonsalgoritmen brukes typisk for informasjonsformål, slik at personell kan varsles om en nær forestående slagg 20-30 minutter på forhånd. Informasjonen kan for eksempel vises på en dataskjerm i kontrollrommet. I en utførelse av oppfinnelsen kan slaggdeteksjonsalgoritmen brukes for å oppnå en ytterligere stabilisering av strømningen.

#### Den dynamisk tilbakekoblede regulator

Regulatoren 9 omfatter fortrinnsvis en regulator med flere innganger og en utgang, implementert på tilstandsromform. 25 Målingene omfatter trykk og rate ved innløpet 12 og ved utløpet 13 oppstrøms reguleringsventilen 2. Krav til instruksjonering er minimum trykkmålingen PT1. Som et alternativ til trykkmåling kan temperaturmåling brukes, hvorav trykk kan kalkuleres.

30 Figur 3 viser en implementert dynamisk tilbakekoblet regulator i mer detalj. Regulatoren består av følgende blokker:

- 14: Tilbakekoblet stabilisering sørger for at strømningsraten stabiliseres.
- 15: Sluggstrupning struper rørledningens strueventil dersom en slugg oppstår (trykk økes oppstrøms strueventilen 2)
- 5 □ 16-19: Filtre for inngangssignaler
- 20: Vender for utgangsverdien avhengig av modus manuell/automatikk
- 21-25: Maksimum og minimum funksjonsblokker

10 Inngangssignalene til regulatoren er:

- PT1: Trykk ved rørledningens innløp, 12.  
Referanse PT1: Ønsket/nominell verdi for trykket ved rørledningens innløp, 12.
- PT2: Trykk oppstrøms strueventil, 13.  
Referanse PT2: Ønsket/nominell verdi for trykket oppstrøms strueventilen, 13.
- 15 Output high limit (OHL): Øvre grense for regulatorenens utgang U1 og U2.
- Output low limit (OLL): Nedre grense for regulatorenens utgang U1 og U2.
- 20 Manual output value (MOV): pådrag fra regulatoren når den er I manuell modus
- Mode: Regulatorenens modus definert av operatør

Utgangssignalene fra regulatoren vist i figur 3 er:

- 25 Filtrert PT1, filtrert trykkmåling en.
- Filtrert PT2, filtrert trykkmåling to.
- U1: Regulatorenens utgang som skal kobles til rørledningens reguleringsventil (2).
- U2: Regulatorenens utgang basert på måling PT1
- 30 U3: Regulatorenens utgang basert på måling PT2

Andre utgangssignaler fra regulatoren (ikke vist på figur 3) er:

- Filtrert referanse for PT1
- Filtrert nomimell verdi for PT2
- 5 Regulatoren tilstand
- Regulatoren "vakthundsignal"

Alarmsignaler fra regulatoren (ikke vist på figur 3) er:

- Høy pådrag alarm
- Lav pådrag alarm
- 10 Lesefeil alarm

Blokkskjema i figur 3 viser følgende koblinger:

1. Tilbakekoblingen U2 og U3 fra de to målingene PT1 og PT2 kalkuleres uavhengig
2. Utgangen U2 fra tilbakekoblet stabilisering 14 er begrenset til å være mellom øvre og nedre begrensning.
- 15 3. Utgangen U3 fra sluggstrupningsalgoritmen er begrenset til å være mindre enn null 23.
4. Summen av U2 og U3 er en av to innganger til regulator modusvenderen 20. Avhengig av det operatørdefinerte modus
- 20 vil regulatoren pådrag være summen av U2 og U3 eller det operatørdefinerte manuelle pådrag (MOV).
5. Utgangen U1 fra regulatoren begrenses til å være mellom øvre 24 og nedre 25 begrensning.

- De neste avsnittene beskriver tilbakekoblet stabilisering 25, sluggstrupning 15, filtrene 16-19 og samhandlingen mellom blokkene som gir den komplette sluggreguleringsalgoritmen. Beskrivelsen av hver del har tre nivåer. Det øverste nivå er en oversikt der hensikten med blokken er klargjort. På nivå to gis en utfyllende matematisk beskrivelse av 30 blokken, og på det tredje og mest detaljerte nivået gjenomgås selve implementasjonen.

**Tilbakekoblet stabilisering**

Algoritmen for stabilisering ved tilbakekobling 14 er essensiell for å stabilisere terreng- og stigerørsindusert slaggstrømning.

## 5 Nivå 1.

Hensikten med algoritmen for stabilisering ved tilbakekobling er å regulere rørledningens innløpstrykk, ettersom innløpstrykket er en av hoveddrivkreftene til strømningen gjennom rørledningen eller stigerøret. Tilbakekoblingen 14 reagerer på periodiske svingninger i trykkmålingen PT1 ved reguleringspådrag ved lave frekvenser, det vil si at tilbakekoblingen inkluderer integralvirkning. Algoritmen har innebygget logikk for å håndtere integralvirkningen når pådraget er i metning, såkalt "anti-windup". Metningshåndteringen er implementert ved at regulatorens pådrag huskes, og er en tilstand i regulator-algoritmen. Slik blir bare en del av regulatorens tilstander begrenset.

## Nivå 2.

Et eksempel på en algoritme for stabilisering ved tilbakekobling 14 kan beskrives av følgende differanse-ligning:

$$\Delta u_{2,k} = K(\Delta e_{f,k} + T_1/T_2 e_{f,k} + T_2/T \Delta \Delta e_{f,k})$$

der  $T$  er tastetiden,  $K$ ,  $T_1$  og  $T_2$  er konstanter som kan innstilles, operatoren  $\Delta$  betyr  $\Delta m_k = m_k - m_{k-1}$  og  $e_{f,k}$  er filtrert reguleringsavvik (referanse minus måling).

25 Filteret som genererer det filtrerte reguleringsavviket er et første ordens filter av type som nærmere angitt nedenfor. Regulatoren implementeres i en tilstandsromform, idet

tilstandene i regulatoren er gjort slik at håndtering av metning i pådrag (anti-windup) er lett implementert.

Nivå 3.

- Et eksempel på en algoritme for stabilisering ved tilbake-  
 5 kobling 14 kan implementeres ved bruk av følgende til-  
 standsrom formulering:

$$\begin{bmatrix} x_{FS,k+1}(1) \\ x_{FS,k+1}(2) \\ x_{FS,k+1}(3) \\ x_{FS,k+1}(4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_p(1+T_p/T_i + T_d/T_i) & -K_p(1+2T_d/T_i) & K_pT_d/T_i \\ 0 & e^{(-r_i/T_i)} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{FS,k}(1) \\ x_{FS,k}(2) \\ x_{FS,k}(3) \\ x_{FS,k}(4) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -(1-e^{(-r_i/T_i)}) & 1-e^{(-r_i/T_i)} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_i(1) \\ y_i(3) \end{bmatrix}$$

$$u_{k+1}(2) = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{C_{FS}} \begin{bmatrix} x_{FS,k+1}(1) \\ x_{FS,k+1}(2) \\ x_{FS,k+1}(3) \\ x_{FS,k+1}(4) \end{bmatrix}$$

- Det første elementet i tilstandsvektoren  $x_{FS,k}(1)$  er den for-  
 10 rige regulatorutgang. Tilstandene  $x_{FS,k}(2)$  to  $x_{FS,k}(4)$  inneholder nåværende og de to forrige filterte reguleringsavvik.  
 Tilstanden til regulatoren  $x_{FS}$  oppdateres også når pådraget  
 15 når høy og lav verdi. Det betyr at den ikke-lineære logikken for håndtering av metning 21 og 22 vil påvirke tilstan-  
 dene i algoritmen for tilbakekobling. En liknende påvirk-  
 ning vil også inntreffe når regulatoren er i manuell- og  
 oppstartsmodi.

**Sluggstrupning****Nivå 1.**

- Hensikten med *sluggstrupningsalgoritmen 15* er å strupe rørledningens strupeventil 2 når der oppstår en slugg, det vil  
 5 si når sluggen nærmer seg utløpet av rørledningen eller stigerøret. Trykkmålingen PT2, oppstrøms strupeventilen 2, øker hurtig når en væskeplugg nærmer seg stedet hvor PT2 er plassert. Algoritmen 15 bruker derfor PT2 som inngangssignal og reagerer på en økning i trykket ved å strupe venti-  
 10 len 2. Slik blir regulatoren i stand til å bremse væskepluggens hastighet. Resultater fra feltutprøvning og simu-  
 lering viser at en moderat bruk av strupning når det kommer en slugg har en stabiliseringseffekt.

**Nivå 2.**

- 15 På kontinuerlig form har slugg strupningstilbakekoblingen 15 følgende form:

$$K(s) = k \frac{s}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}, \quad u_3(s) = K(s)e_2(s)$$

der  $K(s)$  er Laplace transformasjonen av regulatoren,  $u$ , er regulatorenens utgang og

- 20  $e_2$  er filtrert ønsket verdi for PT2 minus PT2. Konstanter for innstilling er  $\tau_1 = 1/\zeta_1$  and  $\tau_2 = 1/\zeta_2$ , og regulatorenens forsterkning  $k$ .

## Nivå 3.

Med tastetid  $T$ , og nulte ordens hold (ZOH) vil en ikke-  
kontinuerlig tilstandsromformulering for regulatoren  $K(s)$   
er gitt ved:

$$\begin{bmatrix} x_{sc,k+1}(1) \\ x_{sc,k+1}(2) \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} e^{-\frac{T}{\tau_1}} & 0 \\ 0 & e^{-\frac{T}{\tau_2}} \end{bmatrix}}_{\Phi_x} \begin{bmatrix} x_{sc,k}(1) \\ x_{sc,k}(2) \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} k_p \left(1 - e^{-\frac{T}{\tau_1}}\right) \\ k_p \left(1 - e^{-\frac{T}{\tau_2}}\right) \end{bmatrix}}_{\Gamma_x} \left( \underbrace{y_k(2) - y_k(4)}_{e_k(2)} \right)$$

$$u_{k+1}(3) = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ \tau_2 - \tau_1 & \tau_2 - \tau_1 \end{bmatrix}}_{Csc} \begin{bmatrix} x_{sc,k+1}(1) \\ x_{sc,k+1}(2) \end{bmatrix}$$

5

## Filtre

## Nivå 1.

Hensikten med filtrene 16 - 19 og filteret i den tilbake-  
koblede stabiliseringsalgoritmen 14, som filtrerer regule-  
10 ringsavviks signalet, er å sikre jevne overganger mellom ope-  
rasjonelle settpunkt og filtrering av høyfrekvent støy.

## Nivå 2.

Alle filtrene er førsteordens lavpassfiltre med stasjonær  
forsterkning lik 1. Det generelle uttrykket for disse filt-  
15 rene er:

$$F(s) = \frac{1}{T_f s + 1}, \quad y_f(s) = F(s) y(s)$$

## Nivå 3.

Med tastetid  $T_f$  og ZOH, kan den tids-diskretiserte tilstandsromrealiseringen av det kontinuerlige filteret  $F(s)$  uttrykkes som:

$$5 \quad x_{f,k+1} = \underbrace{e^{-T_f/T_f}}_{\Phi_f} x_{f,k} + \underbrace{(1 - e^{-T_f/T_f})}_{\Gamma_f} y_k, \quad y_{f,k+1} = \underbrace{\frac{1}{C_f}}_{r_f} x_{f,k+1}$$

## Den komplette tilstandsrom regulatoren

## Nivå 1.

De individuelle dynamiske delene av slaggeregulatoren er beskrevet ovenfor. Disse delene er satt sammen til en tilstandsromrealisering av slaggeregulatoren.

## Nivå 3.

Et eksempel på en tilstandsromrealisering av den tilbake-koblede regulatoren 9 er:

$$x_{k+1} = \Phi x_k + \Gamma y_k, \quad u_{k+1} = C x_{k+1} + D y_k,$$

15 der

$x_k$  er tilstandsromvektoren til regulatoren

$y_k$  er inngangsvektoren til regulatoren (målinger og referanser/nominelle verdier etc.)

$u_k$  er utgangsvektoren fra regulatoren

20 Elementene i inngangs vektoren  $y_k$  er:

$y_k(1)$  innløpstrykket til rørledningen, PT1

$y_k(2)$  trykk oppstrøms rørledningens utløpsventil (2), PT2

$y_k(3)$  referanseverdi for rørledningens innløpstrykk, PT1

25  $y_k(4)$  Nominell verdi for trykk oppstrøms rørledningens utløpsventil (2), PT2

Elementene i tilstandsvektoren  $x_k$  er:

- $x_k(1)$  forrige pådrag,  $u_{k-1}(2)$
- $x_k(2)$  filtrert reguleringsavvik ved tiden  $k$ ,  $e_{f,k}$
- $x_k(3)$  filtrert reguleringsavvik ved tiden  $k-1$ ,  $e_{f,k-1}$
- 5  $x_k(4)$  filtrert reguleringsavvik ved tiden  $k-2$ ,  $e_{f,k-2}$
- $x_k(5)$  Filtrert PT1
- $x_k(6)$  Filtrert PT2
- $x_k(7)$  Filtrert referanse for PT1
- $x_k(8)$  Filtrert nominell verdi for PT2
- 10  $x_k(9)$  Tilstand én i slugg-tilbakestrupingsalgoritmen
- $x_k(10)$  Tilstand to i slugg-tilbakestrupingsalgoritmen
- $x_k(11)$  Regulator tilstand
  - 0 Manuell
  - 1 Oppstart
  - 2 Auto

Elementene i utgangsvektoren  $u_k$  er:

- $u_k(1)$  Utgang fra sluggregulatoren
- $u_k(2)$  Utgang fra den tilbakekoblede stabiliseringsalgoritmen
- 14
- 20  $u_k(3)$  Utgang fra slugg-tilbakestrupingsalgoritmen 15
- $u_k(4)$  Filtrert trykkmåling PT1
- $u_k(5)$  Filtrert trykkmåling PT2
- $u_k(6)$  Filtrert referanseverdi for trykk måling PT1
- $u_k(7)$  Filtrert nominell verdi for trykk måling PT2

Matrisen  $\Phi, \Gamma, C, D$  er:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{FS} & 0_{4 \times 4} & 0_{4 \times 2} & 0_{4 \times 1} \\ 0_{4 \times 4} & \Phi_{filter} & 0_{4 \times 2} & 0_{4 \times 1} \\ 0_{2 \times 4} & 0_{2 \times 4} & \Phi_{sc} & 0_{2 \times 1} \\ 0 & 0 & 0_{1 \times 2} & 1 \end{bmatrix}, \quad \Gamma = \begin{bmatrix} \Gamma_{FS} \\ \Gamma_{filter} \\ \Gamma_{sc} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0_{1 \times 4} & 0_{1 \times 4} & 0_{1 \times 2} & 0 \\ C_{FS} & 0_{1 \times 4} & 0_{1 \times 2} & 0 \\ 0_{1 \times 4} & 0_{1 \times 4} & C_{sc} & 0 \\ 0_{4 \times 4} & I_{4 \times 4} & 0_{4 \times 2} & 0_{4 \times 1} \end{bmatrix}, \quad D = 0_{7 \times 4}$$

$$\Phi_{filter} = \begin{bmatrix} e^{-T_1/T_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-T_2/T_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-T_3/T_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-T_4/T_1} \end{bmatrix}, \quad \Gamma_{filter} = \begin{bmatrix} 1 - e^{-T_1/T_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - e^{-T_2/T_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 - e^{-T_3/T_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - e^{-T_4/T_1} \end{bmatrix}$$

der  $0_{m \times n}$  er en  $m \times n$  0 - matrise,  $T_1$  til  $T_4$  er filtertidskonstanter og  $T_s$  er tastetiden.

#### Stasjonær regulatorutgang og tilstandsoppdatering

Når regulatorutgangen er stasjonær, gitt ved

1. Manuell modus
2. Oppstartsmodus
3. Høy eller lav metning,

10 vil regulatorens tilstand oppdateres slik at den tas ut av stasjonært område eller metning uten sprang. Dette oppnås ved å oppdatere det forrige pådraget i den tilbakekoblede stabiliseringsalgoritmen.

#### 15 Regulatormodi og -transisjoner

Figur 4 viser tre forskjellige modi. Modiene er:

1. Manuell: Regulatoren er aktiv, men utgangssignalet fra regulatoren til rørledningens utgangsventil (2) holdes konstant.
2. Oppstart: Regulatoren er aktiv, men utgangssignalet fra regulatoren til rørledningens utgangsventil (2) oppdateres ikke. Regulatoren tester om visse prosess- og reguleringsbetingelser er til stede for å kunne initiere en transisjon fra oppstartsmodus til automodus.
3. Auto: Regulatoren er aktiv og pådraget fra regulatoren til rørledningens utgangsventil (2) oppdateres.

Operatøren initierer transisjonen fra manuell modus til oppstartsmodus ved å sette regulatormodus til automodus.

- Transisjonen fra oppstartsmodus til automodus avhenger av prosessmålinger og det kalkulerte pådraget fra regulatoren.
- 15 Regulatoren kan kun gå fra oppstartsmodus til automodus ved følgende betingelser:

1. Regulatormodus er i automodus og
  2. prosessmålingen PT1 er avtagende og
  3. den kalkulerte utgangen U1 er avtagende.
- 20 Oppstartsmodusen er innbefattet for å sikre et best mulig utgangspunkt for stabilisering av strømningen.

Transisjonen fra oppstartsmodus til manuell modus og fra automodus til manuell modus initieres ved å skifte regulatormodus fra automodus til manuell modus.

25 **Regulator oppstart**

Når operatøren endrer den operatørdefinerte modusen fra manuell modus (null) til automodus (én), vil regulatoren gå til oppstartsmodusen. I oppstartsmodusen oppdaterer regulatoren alle interne tilstander samtidig som regulatoren på-

- drag til rørledningens utgangsventil (2) holdes konstant. Når visse prosess- og regulatortilstander er oppfylt, vil regulatoren starte oppdateringen av pådraget til rørledningens utgangsventil (2). Grunnen til den spesielle oppstartsekvensen er at det ikke er mulig å stabilisere strømmen i rørledningen fra en tilfeldig rørledningstilstand. Når regulatoren går fra oppstartsmodus til automodus, vil den alltid starte med å strupe tilbake.

**Endringer i operasjonspunkt**

- 10 De operatørforespurte endringer i operasjonspunkt, gitt ved endringer i referanseverdier/nominelle verdier for trykk, filtreres av filtrene 16 og 18. Filterne er innbefattet for å gi jevne transisjoner fra ett operasjonspunkt til et annet.

15 **Bruk av regulatoren**

- Regulatorens referanseverdi 10 varierer avhengig av gjennomsnittlig (typisk 2 til 8 timer flytende gjennomsnitt) innstrømningsrate, måling FT1, til rørledningen og/eller gjennomsnittlig (typisk 1 til 4 timer flytende gjennomsnitt) ventilåpning 2 ved rørlednings utløp.

- Den tilbakekoblede stabiliseringsalgoritmen 14 regulerer rørledningens utgangsventil 2 for å oppnå ønsket trykk (referansen 10) ved rørledningens innløp PT1.

- Sluggtilbakestrupingalgoritmen 15 stenger rørledningens utgangsventil 2 når trykkmålingen PT2 oppstrøms utgangsventilen 2 øker raskt. Dette pådraget minsker til null over noe tid (typisk et par minutter) når PT2 slutter å avta eller øker. Reguleringspådragene i sluggtilbakestrupingsalgoritmen 15 og den tilbakekoblede stabiliseringsalgoritmen virker begge på den samme utgangsventilen, men ved forskjellige frekvenser gjennom riktig innstilling av de innstillebare parametrerne:

$T_1$ , i den tilbakekoblede stabiliseringsalgoritmen  
 $\tau_1$  og  $\tau_2$  i sluggtilbakestrupingsalgoritmen

Den tilbakekoblede stabiliseringsalgoritmen 14 virker på langsomme til medium periodiske variasjoner (typisk i området 5 minutter til flere timer) i målingen PT1 gjennom å inkludere et lavfrekvent pådrag som innbefatter en integralvirkning. Den tilbakekoblede stabiliseringsalgoritmen 14 har innbygget logikk for "anti-windup". Denne strategien er implementert ved å ordne regulatortilstandene i en gitt rekkefølge, og derfor er kun en delmengde (et undersett) av disse tilstandene begrenset.

#### Rørledningssimuleringer

Figur 5 viser flerfasestrømningssimuleringer av terrengindusert sluggstrømning. Videre viser figur 5 at væskestrømmen ved rørledningens utløp er lik null i en periode på omrent 2 timer. I dette tidsrommet bygger trykket oppstrøms væskepluggen seg opp, se figur 11-I. Når innløpstrykket overskridet det hydrostatiske trykket til væskesøylen i stigerøret, vil væskens akselereres og trykket ved rørledningens utløp stiger, se figur 11-II og figur 11-III. Væskens blir ført til rørledningens utløp og trykket avtar ettersom gassen og væskens strømmer ut av rørledningen, figur 11-IV. Prosessen gjentar så seg selv.

Figur 6 viser et diagram av væskens volumfraksjon langs rørledningen (profildiagram), tattet hvert minutt gjennom en slugsykklus. Det som skjer ved hvert tidsintervall er ikke det viktigste, det som er viktig er hva som skjer ved forskjellige posisjoner i rørledningen i løpet av en syklus. Posisjoner der forskjellen mellom maksimum og minimum væskefraksjon er stor har potensial for å initiere terrengindusert sluggstrømning.

Den simulerte ytelsen til sluggregulatoren er vist i figur 7. I løpet av de første 8 timene er regulatoren satt i ma-

nuell modus, noe som indikeres av de karakteristiske trykksvingningene på rørledningens inn- og utløp. Regulatoren starter å regulere ved  $t=28h$  og bruker 5 - 7 timer på å stabilisere rørledningen. Det kan virke som regulatoren har

5 slått seg til ro på en konstant pådrag ved  $t=38h$ . Dette er imidlertid ikke riktig. Dersom man forstørret regulatoren pådrag, ville man se at regulatoren stadig utfører små bevegelser rundt pådragets gjennomsnittsverdi. Regulatoren blir satt i manuell ved  $t=45h$ , med et pådrag som tilsvarer

10 gjennomsnittet de siste 3 timene. Man kan observere at sluggstrømningsregimet igjen langsomt bygger seg opp.

Fra figur 7 virker det fornuftig å anta at strømningen i rørledningen er stabil ved innløp og utløp ettersom trykkene er stabile. Det kan imidlertid, på grunn av rørledningens lengde, hevdes at intern ustabilitet kanskje kan forekomme. Figur 8 viser et profildiagram av væske-volumfraksjonen, fastet hvert 60. sekund mellom  $t=41h$  og  $t=45h$ . 241 grafer er derfor vist og alle ligger over hverandre, noe som impliserer stabilitet gjennom rørledningen.

#### 20 Stigerørssimuleringer

Den påfølgende delen presenterer resultater fra et dyptvannsrørledning/stigerørssystem simulert av simuleringsverktøyet OLGA. Figur 12 viser rørledningens geometri. Den totale lengden er rundt 6.5 km, der 5 km er rørledning på havbunnen og 1.5 km er stigerør. Helningen fra brønnhodet til stigerørets start er  $1^\circ$  nedover. Havdybden ved stigerørets start er 1320 m. En kilde er lokalisert ved rørledningens innløp. Grensebetingelsene ved innløpet er tidsuavhengig og ved utløpet er trykket satt til 15 bar. En reguleringsventil befinner seg på toppen av stigerøret. Denne reguleringsventilen vil bli brukt til å regulere flerfasestrømningen i stigerøret.

To forskjellige innløpsbetingelser er simulert. Det første tilfellet er ved starten av produksjonsprofilen. Innløps-

strømningen er satt til  $6000 \text{ Sm}^3/\text{d}$  og gassfraksjonen blir lest fra en PVT tabell med trykk og temperatur i innstrømningsseksjonen (den første seksjonen i rørledningen) som inngang til tabellen. Dette innebærer at gassfraksjonen og 5 også gass-olje forholdet (GOR) kan variere til en viss grad. GOR varierer rundt  $125 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$ . I det andre tilfellet er GOR lik  $250 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$  og innløpsstrømningen er satt til  $2000 \text{ Sm}^3/\text{d}$ . I begge tilfeller er vannkuttet satt til null, og kun to-fase simuleringer er gjennomført.

10 **Tilfelle én**

Figur 13 til figur 16 viser simuleringer av stigerørs-indusert sluggstrømning (hard slugging) med en innstrømning på  $6000 \text{ Sm}^3/\text{d}$  med en GOR på rundt  $125 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$ .

Figur 13 viser en hard sluggsyklus indusert i et stigerør. 15 Det er verdt å merke seg følgende:

1. Den store variasjonen i inn- og utløpstrykk på rørledningen.
2. Oljeutstrømningen er null i store deler av tiden i motsetning til terrenget indusert slugging. Årsaken er at 20 væskepluggen strekker seg langt inn i den nærmest horisontale rørledningen oppstrøms stigerøret og det tar tid å produsere væske inn i rørledningen, se figur 11-II.
3. Ved å analysere simuleringene grundig finner man betydelig hurtigfordampning som medfører en gassløft effekt.
- 25 Gassløft effekten gir en rask økning i olje utstrømningen som kan observeres som den første toppen i slaggstrømnings-syklusen. Den sistnevnte toppen i oljeutstrømningen er relativert til utblåsningen av stigerøret, m.a.o. tömming av stigerøret, se figur 11-III.
- 30 Figurene 14 og 15 viser virkningen av en stegvis lukking av rørledningens ventil fra 100% til 20%. Det er verdt å merke seg:

1. For å være i stand til å komme ut av det ustabile området med stigerørsindusert sluggstrømning er en nødt til å stenge ventilen til mindre enn 20% åpning.
2. For å være i stand til å redusere toppen av oljeutstrømningen i betydelig grad ved konstant struping, er 5 en nødt til å stenge ventilen til mindre enn 40% åpning.

Figur 15 viser at man er nødt til å lukke reguleringsventilen så mye som 14% for å oppnå et stabilt strømningsregime ved hjelp av struping, hvilket medfører at rørledningens 10 innløpstrykk blir omlag 135 bar.

Figur 16 viser et profildiagram (900 linjer som er lagt oppå hverandre) av væske-volumfraksjon gjennom én slugsyklus. Det er 10 sekunder mellom hver graf. Grafene illustrerer spennet i mengden væske i forskjellige deler av 15 rørledningen. Følgende konklusjoner kan bli gjort:

1. Væskepluggen dekker en distanse på 1.3 km oppstrøms stigerørets start.
  2. Væskens volumfraksjon i det lokale maksimumspunkt i det S-formede stigerøret er aldri større enn 50%
- 20 Figurene 19 og 20 viser aktiv sluggregulering anvendt på rørledningen. Først er regulatoren i manuell med en ventil åpning på 70%. Deretter, ved  $t=5h$ , blir sluggregulatoren aktivert. Regulatoren venter på de best mulige start betingelsene. Disse betingelsene forekommer omtrent ved  $t=6h$  25 og her begynner regulatoren å oppdatere pådraget (reguleringens ventilen). Strømningen blir stabilisert, og av figur 19 kan man se at ventilåpningen ender på en tilsynelatende konstant åpning på 43%. Ved å øke oppløsningen av den plottede trenden vil man imidlertid kunne se at regulatoren 30 stadig utfører små bevegelser (variasjoner i området 43.1 - 43.2%) rundt gjennomsnittsverdien til pådraget. Små bevegelser i reguleringsventilens posisjon er nødvendig for å holde strømningen stabil.

- Ved  $t=16h$  blir regulatoren satt i manuell modus med det føregående pådraget (43%) som manuelt pådrag. Med regulatoren i manuell modus og med reguleringsventilen i denne posisjonen bygges den stigerørsinduserte sluggstrømningen opp igjen. Ingen andre endringer er blitt gjort. Sluggstrømning, med omtrentlig den samme reguleringsventilåpningen (40%), blir også forutsett av simuleringer uten regulering.
- Merk igjen at innløpstrykket er lavere (103 Bar) med regulering enn uten regulering (136 Bar) der reguleringsventilen gir stabil strømning ved maksimal åpning (20%).

Andre viktige observasjoner er:

1. Mindre trykkfall over rørledningen med regulering enn gjennomsnittlig trykkfall uten regulering (dette er også gjeldene for terrengindusert sluggstrømning).
- 15 2. Øket trykk oppstrøms strupeventil med regulering gir større trykkfall over reguleringsventilen. Dette er en nødvendighet for å gi en effekt med bevegelsene i reguleringsventilen.
3. Væskeplagger oppstår ikke under regulering, kun små bevegelser i profildiagrammet av væske-volumfraksjonen kan 20 observeres.

Figur 20 viser profildiagram av væske-volumfraksjonen under sluggregulering. Diagrammet viser 360 grafer med 10 sekunders intervaller. Alle ligger oppå hverandre, noe som 25 impliserer at rørledningen absolutt er stabil.

#### Tilfelle to

Dyptvannstilfelle to har en innstrømning på  $2000 \text{ Sm}^3/\text{d}$  med en GOR på rundt  $250 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$ . Høyere GOR innebærer et lettere fluid med mer gass og mindre olje.

Figur 17 viser virkningen av en stegvis lukking av rørledningens reguleringsventil fra 50% til 20%. Det som umiddelbart fremkommer er:

1. Karakteristikken av de stigerørsinduserte sluggsyklusene er endret i forhold til tilfelle én. Simuleringene viser at hurtigfordampning under utblåsningen av stigerøret er liten, nesten ikke tilstedeværende i dette tilfellet. Massetransportperioden med konstant utstrømning er også borte. Fremdeles fremkommer store oscillasjoner i trykkene på både inn- og utløp.
2. Væske utstrømningen er null i store deler av tiden.

Sluggsyklusene i dette tilfellet likner i stor grad på terengindusert slugging. Figur 17 viser at man er nødt til å lukke reguleringsventilen til en 10% åpning for å oppnå et stabilt strømningsregime gjennom struping, med rørledningens innløpstrykk på ca. 65 bar. Grunnen til det lave innløpstrykket på rørledningen er i dette tilfellet den økede GORen.

Figur 18 viser et profildiagram (900 linjer som er lagt oppå hverandre) av væske-volumfraksjon gjennom én slugsyklos. Det er 10 sekunder mellom hvert profildiagram. Profildiagrammene illustrerer variasjonen i mengden væske i forskjellige deler av rørledningen. Leseren bør merke seg følgende:

- 25 1. Væskepluggen dekker en distanse på 0,7 km oppstrøms stigerørets start.
2. Væskens volumfraksjon i det lokale maksimumspunkt i det s-formede stigerøret er aldri større enn 70%

30 Ved å sammenlikne figur 18 med 16, ser man at sluggen ikke strekker seg like langt tilbake i den horisontale delen av rørledningen i tilfelle to som i tilfelle én.

Figur 21 og 22 viser aktiv slagg regulering på tilfelle to, med en innstrømning på 2000 Sm<sup>3</sup>/d med en GOR på rundt 250 Sm<sup>3</sup>/Sm<sup>3</sup>. Først er regulatoren i manuell med en ventilåpning på 100%. Deretter, ved t=8h, blir slaggregulatoren aktivert. Regulatoren venter på de best mulige startbetingelser. Disse betingelsene forekommer omrent ved t=8,5h og her begynner regulatoren å oppdatere pådraget (reguleringsventilen). I løpet av slaggreguleringen blir strømningen stabilisert, og av figur 21 ser det ut som om ventilåpningen ender på en konstant åpning på 34,5%. Ved å øke oppløsning en av den plottede trenden vil man imidlertid kunne se at regulatoren stadig utfører små bevegelser (variasjoner i området 34 - 35%) rundt gjennomsnittsverdien til utgangen. Også i dette tilfellet er små bevegelser i reguleringsventilen nødvendig for å holde strømningen stabil. Dette ser man ved å sette regulatoren i manuell modus ved t=24h med det foregående pådraget (34%) som manuelt pådrag. Med regulatoren i manuell modus og med reguleringsventilen i denne posisjonen bygges den stigerørsinduserte slaggstrømningen opp igjen. Igjen er ingen andre endringer blitt gjort. Slaggstrømning, med omrentlig den samme åpningen på reguleringsventilen (30%), blir også forutsett av simuleringer uten regulering, se figur 17.

Merk igjen at innløpstrykket er lavere med regulering (41 Bar) enn uten regulering (65 Bar), der maksimalt åpen reguleringsventil med stabil strømning ble oppnådd ved 10%.

Andre viktige observasjoner liknende tilfelle én er:

1. Mindre trykkfall over rørledningen med regulering enn gjennomsnittlig trykkfall uten regulering.
2. Øket trykk oppstrøms strupeventil med regulering gir større trykkfall over reguleringsventilen. Dette er en nødvendighet for å gi en virkning med bevegelsene i reguleringsventilen.

3. Væskeplugger oppstår ikke med regulering, kun små b-  
vegelser i profildiagrammet av væske-volumfraksjonen kan  
observeres.

Figur 22 viser profildiagrammet av væske-volumfraksjonen  
5 under sluggregulering. Diagrammet viser 360 profilgrafer,  
igjen med 10 sekunders intervaller. Alle ligger oppå hver-  
andre, noe som impliserer at rørledningen er stabil. Ved å  
sammenlikne figur 22 med 20 finner vi at det er mindre væs-  
ke lagret i stigerøret for tilfelle to enn for tilfelle én.  
10 Dette er også grunnen til det lavere innløpstrykket.

Ovenfor, i den delen av dette skrift der simuleringer uten  
regulering ble presentert, ble det bemerket at toppene i  
strømningen er mye større for tilfelle to enn for tilfelle  
én. I tillegg er tidsrommet hvor utstrømningen er null  
15 lengre i tilfelle to. Det er imidlertid uklart hvilke av  
disse to som representerer det største problemet for et  
nedstrøms produksjonsanlegg. I tillegg vil dette være av-  
hengig av anleggets konfigurasjon. Det er allikevel være  
klart at det vil være en fordel å anvende sluggregulering i  
20 begge tilfeller. I det sistnevnte tilfellet er det interes-  
sant å observere hvor mye innløpstrykket minsker med i sam-  
menlikning med trykkvariasjonene i sluggstrømning. Denne  
trykkreduksjonen representerer en økt produksjon fra brøn-  
nene fordi det gir et lavere bunnhullstrykk.

25 Eksempel på bruk av undervannsrsrledning

Figur 9 viser oppstart og operasjon av regulatoren. Den øv-  
re delen av figuren viser rørledningsinnløpstrykket PT1 og  
utløpstrykket PT2. Den nedre delen viser regulatoren på-  
drag U1. Regulatoren står i manuell modus. Etter 8 timer  
30 blir den manuelle verdien endret fra 20% til 25%, og regu-  
latoren blir satt i automodus. Regulatoren går deretter inn  
i oppstartmodus. Rett før t=12h går regulatoren fra opp-  
startsmodus til automodus. Regulatoren starter med å lukke  
reguleringsventilen, før deretter å åpne igjen for å senke

rørlednings innløpstrykk. Regulatoren stabiliserer rørledningen (trykksvingningene er fjernet). På grunn av slugging i brønnene som er koblet opp til plattformen må regulatoren benytte strupeventilen noe for å holde PT1 og PT2 innen 5 grensene.

- Rørledningens innløpstrykk er vist i figur 10. De manglende strømningsmålingene i begynnelsen av grafen skyldes at produksjonsbrønnene var koblet utenom testseparatoren på plattformen. Som vist på figur 10 varierer strømningen. 10 Disse variasjonene representerer relativt store forstyrrelser for slaggregulatoren.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for stabilisering av flerfasestrømning gjennom en rørledning (8) med tendenser til slaggdannelse, hvilken rørledning (8) ved sitt utløp forsynes med en reguleringsventil (2) som styres ved hjelp av en dynamisk tilbakekoblet regulator (9), hvilken regulator (9) forsynes med minst én inngangsverdi hvorav minst én er en trykkvariabel som måles oppstrøms for reguleringsventilen (2), karakterisert ved at nevnte trykkvariabel måles på innløpet (12) av rørledningen (8), enten som et direkte trykk, eller som en temperatur hvorfra trykket kan beregnes.
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, karakterisert ved at den dynamiske tilbakekoblede regulatoren (9) er en multivariabel, enkel utgangsregulator som virker på periodiske variasjoner i målte variable.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, karakterisert ved at regulatoren (9) regulerer rørledningens (8) innløpsttrykk.
4. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, karakterisert ved at ytterligere målepunkter er lokalisert på utløpet (13) av rørledningen (8) oppstrøms reguleringsventilen (2).
5. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, karakterisert ved at den innbefatter minst én trykkmåling (PT1) eller en temperaturmåling (TT1) oppstrøms enhver væskeplugg på innløpsenden av rørledningen (8).
6. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, karakterisert ved at stabilisering av flerfasestrømningen forbedres ved å innbefatte ytterligere

målinger av strømningsrate, trykk og temperatur, eller en kombinasjon av disse.

7. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, karakterisert ved at det sammen med den dynamiske tilbakekoblede regulatoren (9) anvendes en algoritme for tilbakestruping av slugger.
8. Fremgangsmåte ifølge krav 7, karakterisert ved at slagg-tilbakestrupingsalgoritmen utnytter en trykkmåling nedstrøms reguleringsventilen (2), i tillegg til målingene som benyttes av den dynamiske tilbakekoblede regulatoren (9).
9. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, karakterisert ved at den dynamisk tilbakekoblede regulatoren (9) har en innebygget logikk for håndtering når pådraget er i metning ("anti-windup" logikk).
10. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav, karakterisert ved at den dynamisk tilbakekoblede regulatoren (9) referansepunkt (10) varieres avhengig av strømningsratemålinger (FT1).
11. Fremgangsmåte ifølge krav 1, karakterisert ved at flerfasestrømningen stabiliseres i minst ett ønsket punkt i rørledningen (8) ved hjelp av den dynamisk tilbakekoblede regulatoren (9).
12. Fremgangsmåte ifølge krav 11, karakterisert ved at det ønskede punktet i rørledningen (8) der flerfasestrømningen stabiliseres er et annet punkt enn punktet som tilsvarer rørledningens (8) utløp (13).

13. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav 3-12,

5 karakterisert ved at regulatoren (9) søker å holde rørledningens (8) innløpstrykk hovedsakelig konstant.

14. Dataprogramprodukt som inneholder programkode som er lastbart i et internminne i en datamaskin eller en prosessregulator i et databasert styresystem,

10 karakterisert ved at dataprogramproduktet har mulighet til å få datamaskinen eller prosessregulatoren til å utføre skrittene angitt i krav 1.

15. Dataprogramprodukt ifølge krav 14,

15 karakterisert ved at dataprogramproduktet har mulighet til å få nevnte datamaskin eller prosessregulator til å utføre skrittene angitt i ethvert av kravene 2-13.

16. Anvendelse av et dataprogramprodukt ifølge krav 14 for å stabilisere en flerfasestrømning i et produksjonsanlegg for olje og gass.

313677

1/19

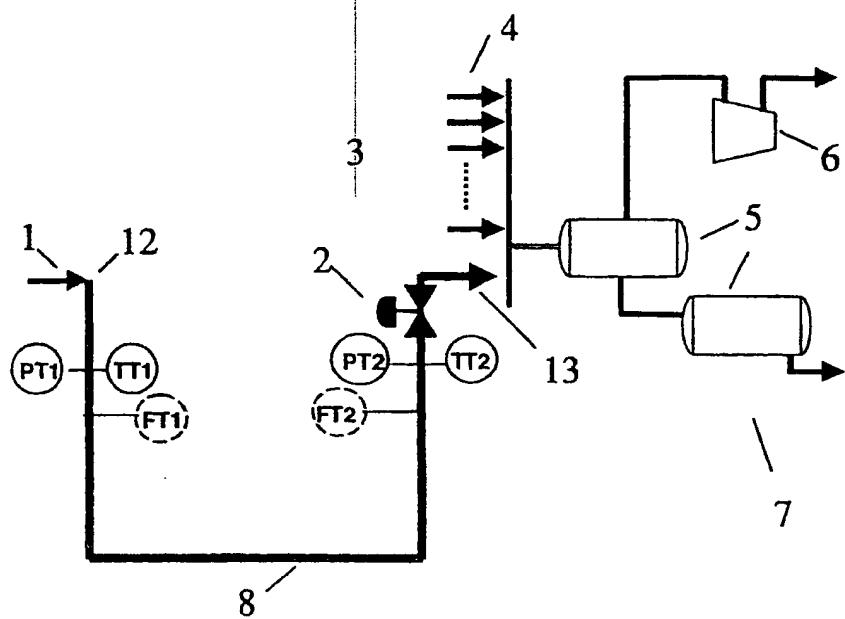


Fig. 1

313677

2/19

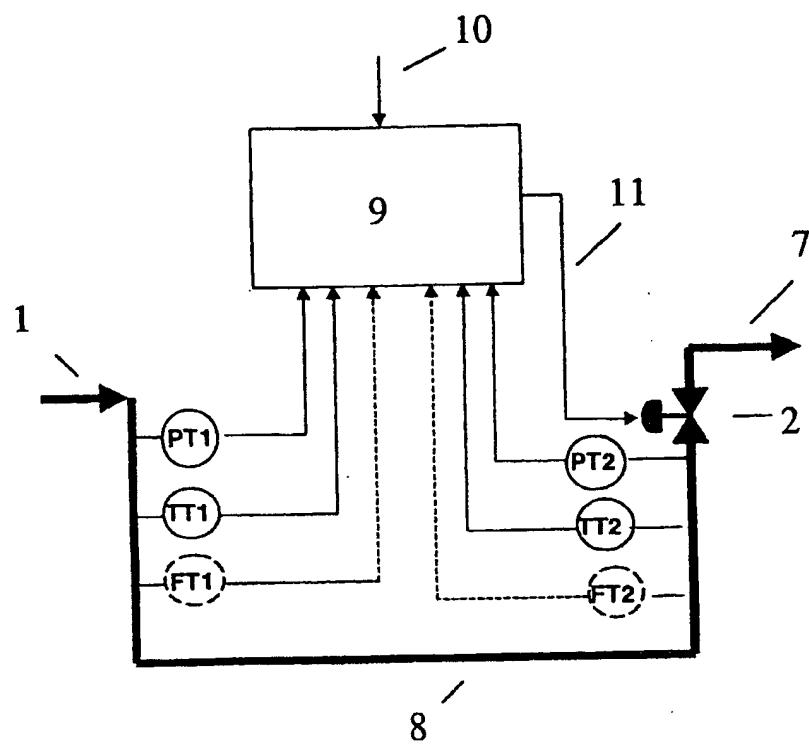


Fig. 2

3 / 19

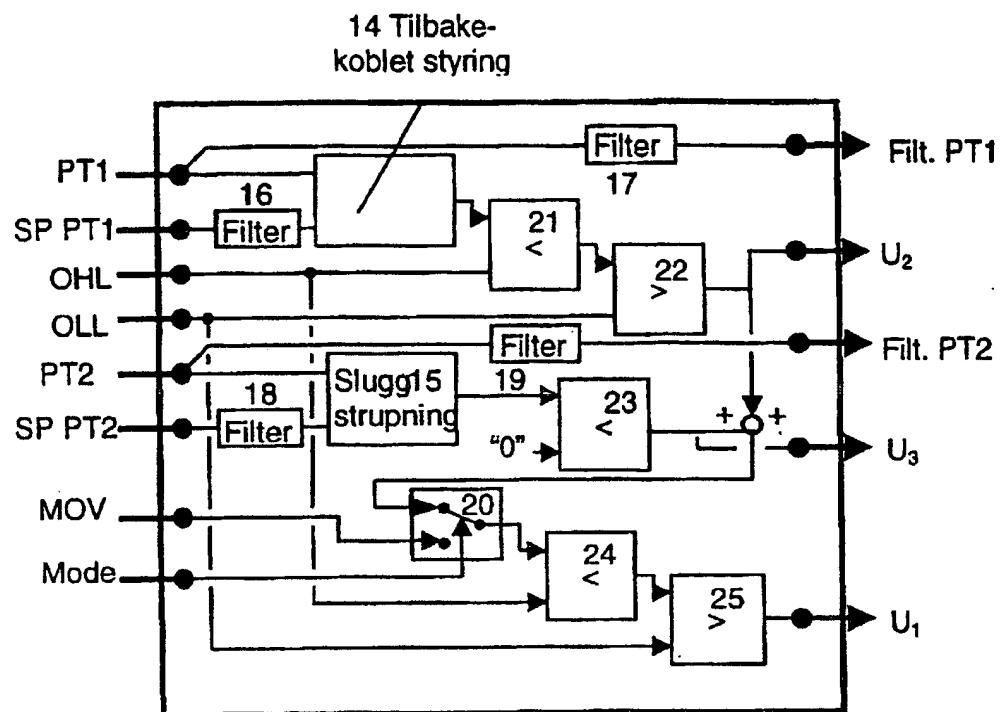


Fig. 3

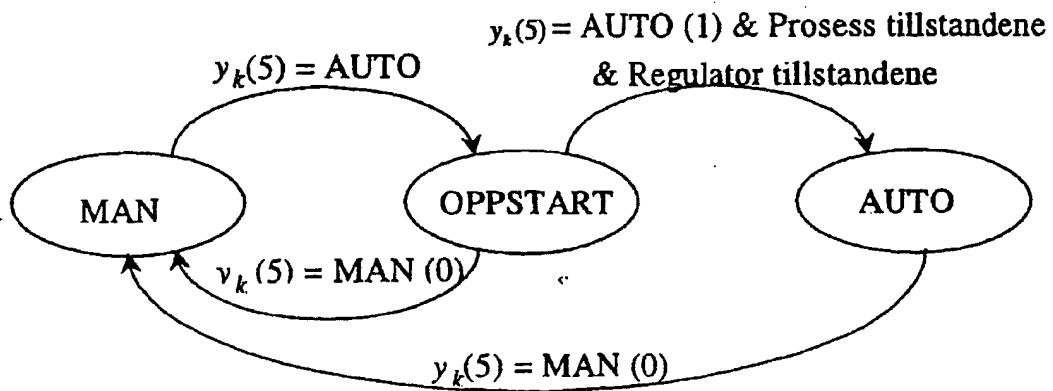


Fig. 4

4 / 19

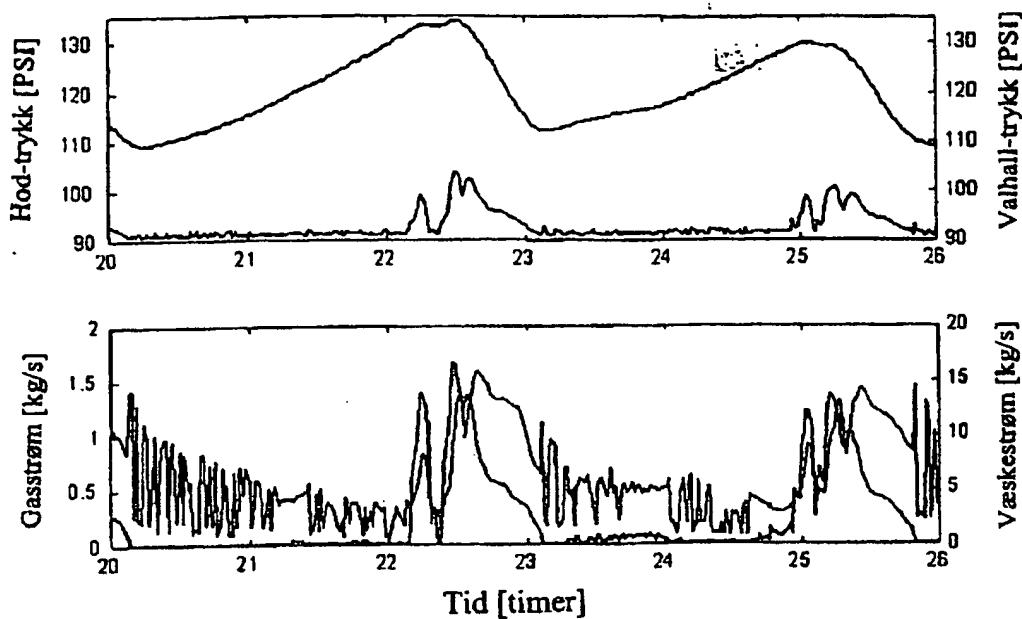


Fig. 5

Profildiagram Hod - Valhall pipeline, tid: 22h - 24h

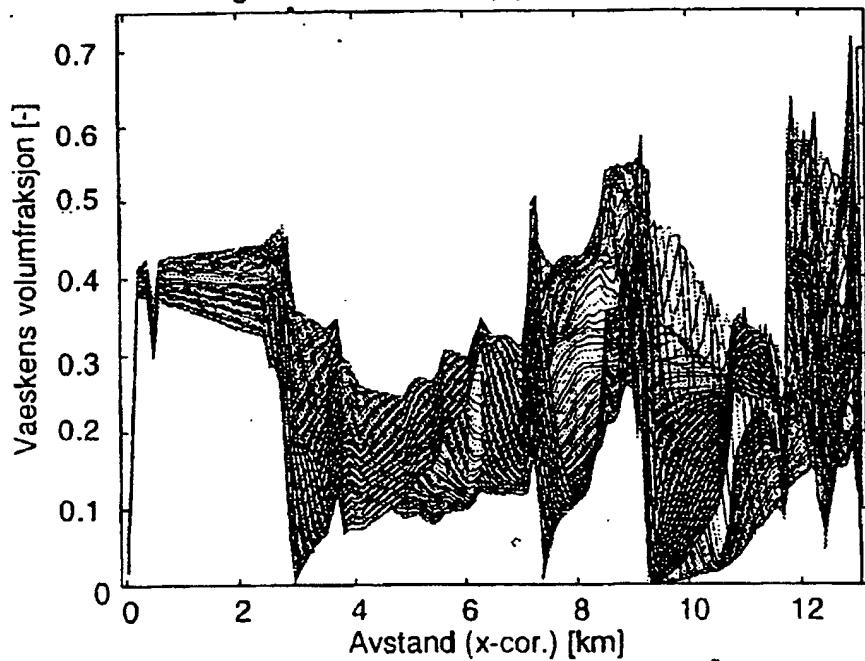


Fig. 6

5 / 19

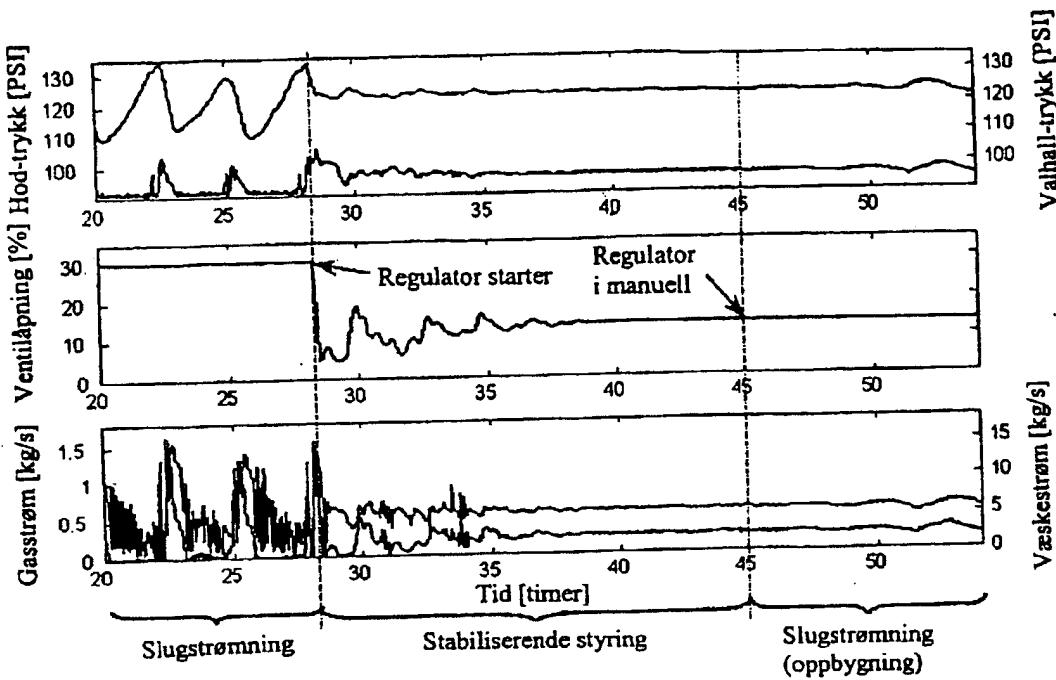


Fig. 7

Profildiagram Hod - Valhall pipeline, tid: 41h - 45h

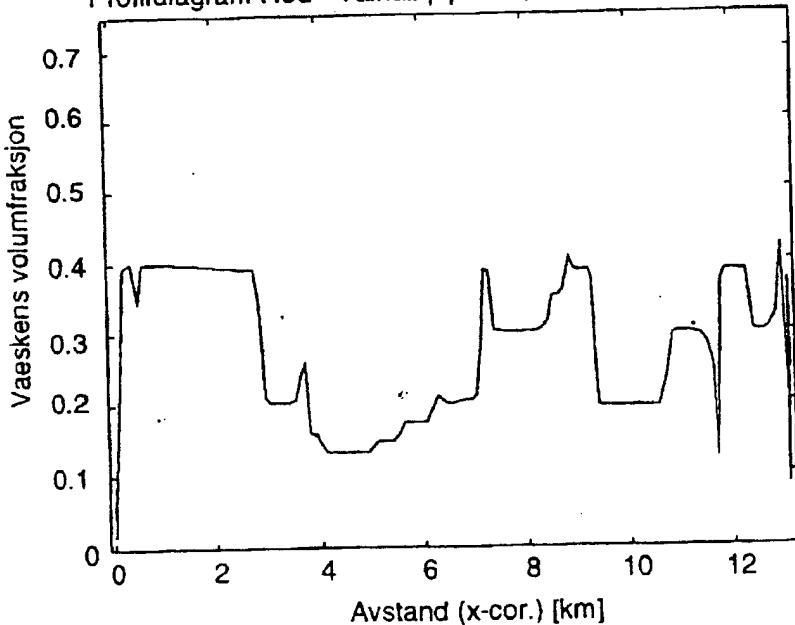


Fig. 8

KORRIGERT UTGAVE/CORRECTED VERSION 313677

6/19

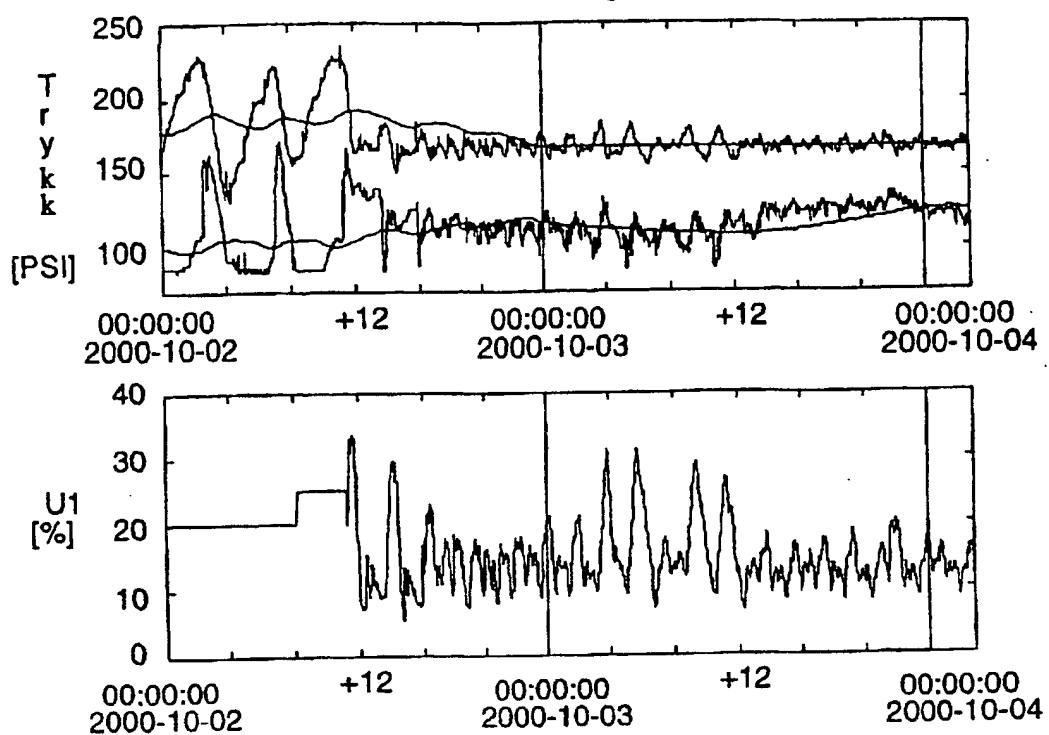


Fig. 9

7/19

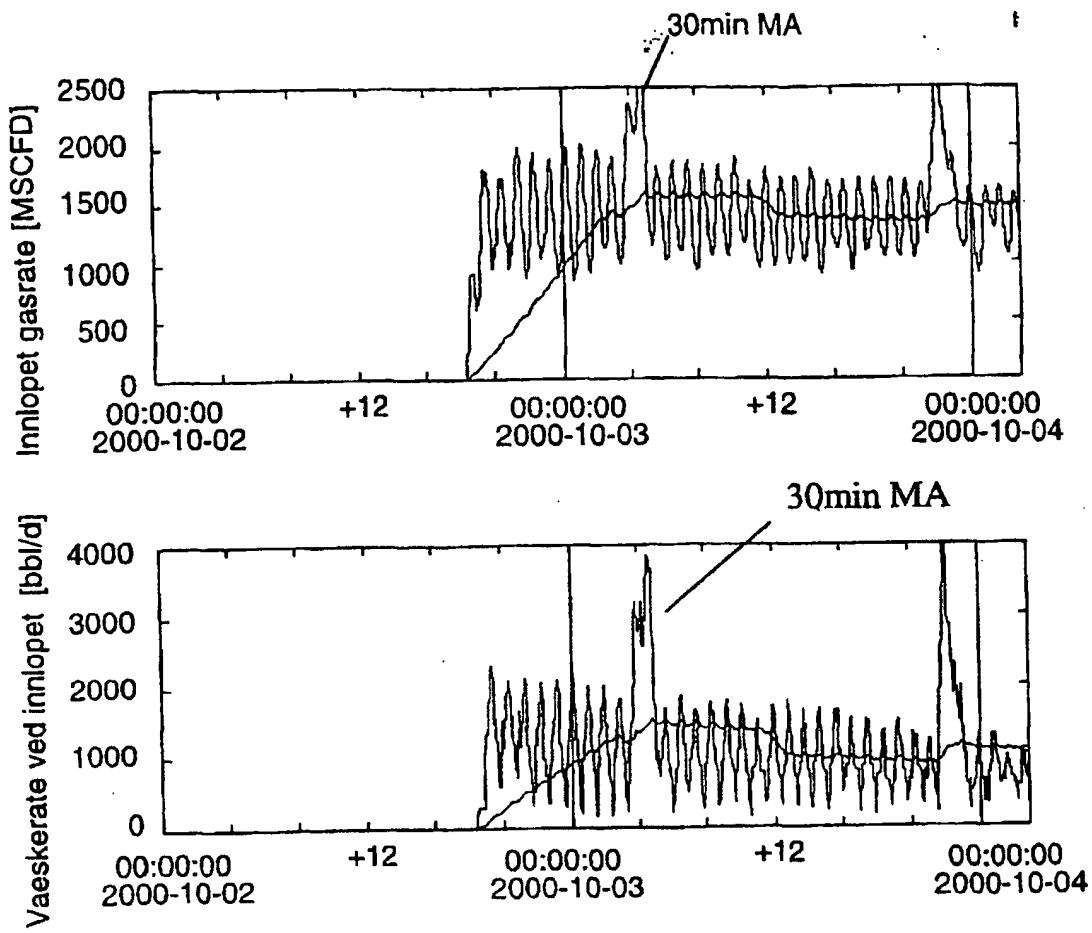


Fig. 10

8/19

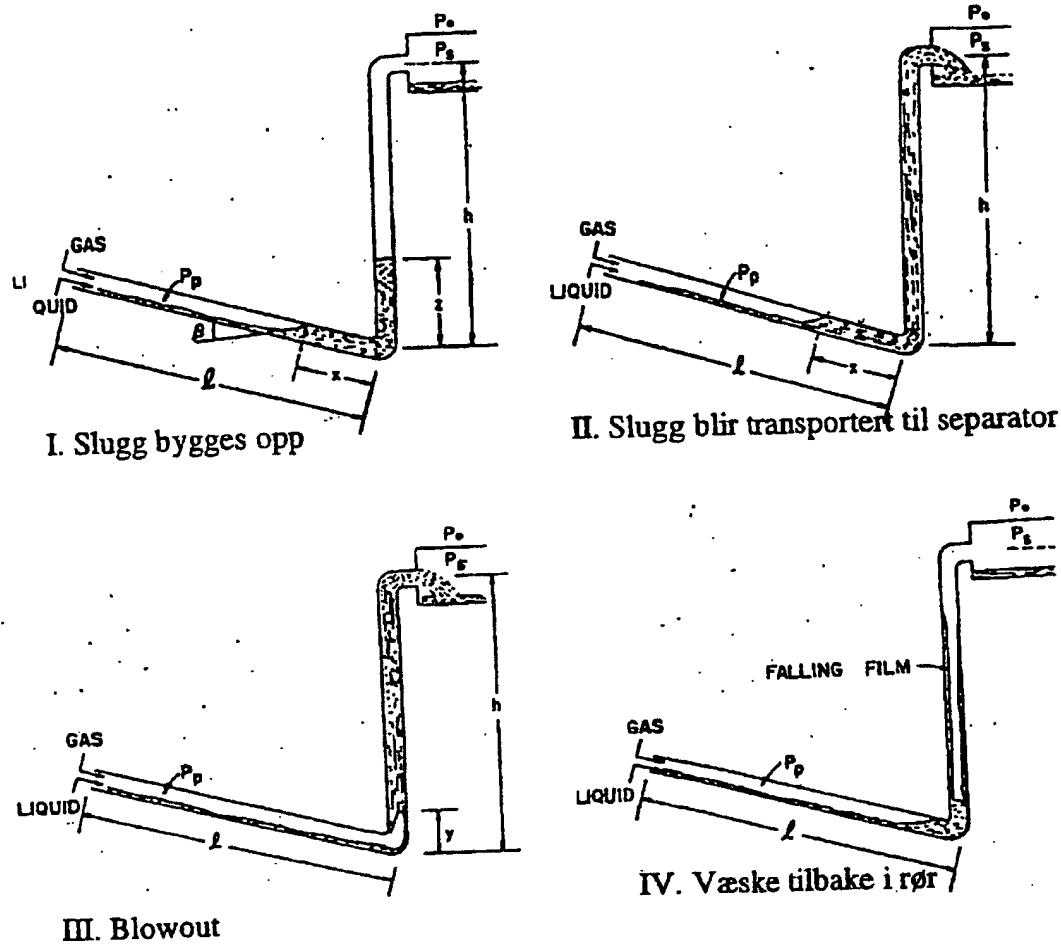


Fig. 11

9/19

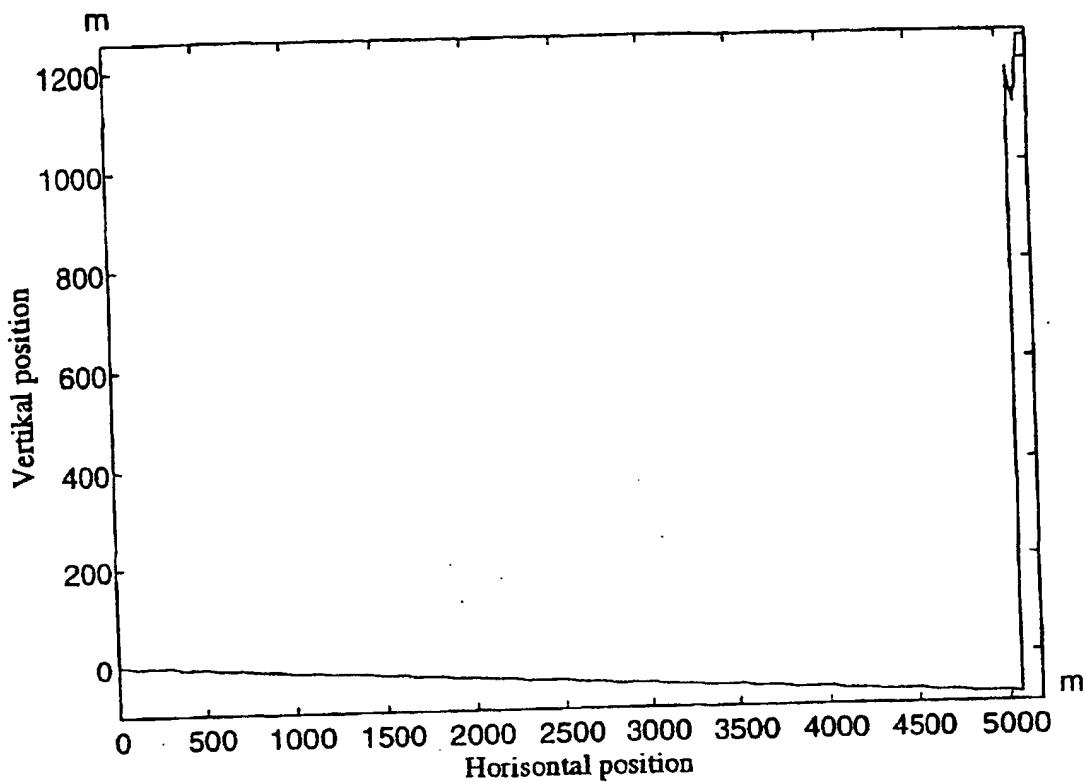


Fig. 12

10/19

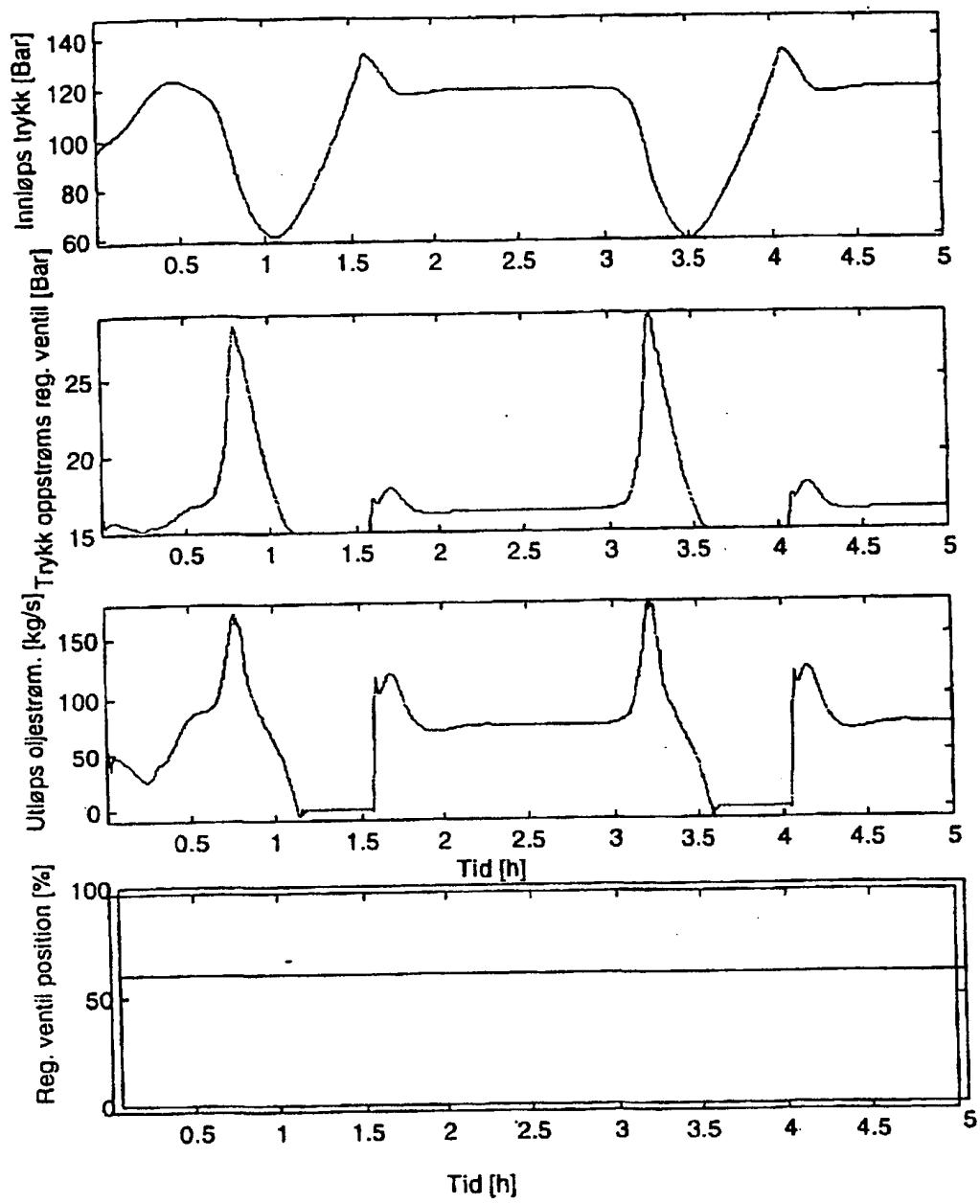


Fig. 13

11/19

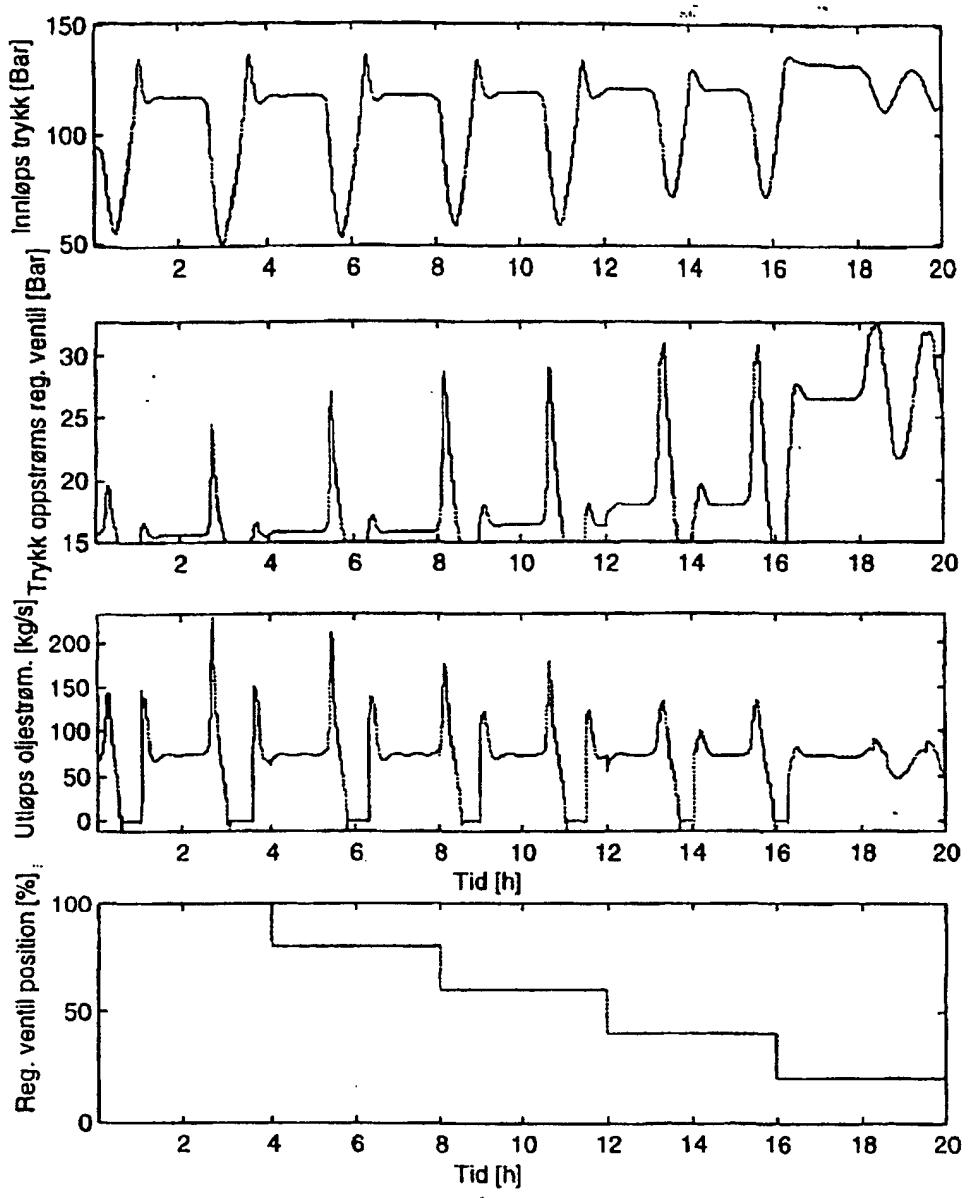


Fig. 14

12/19

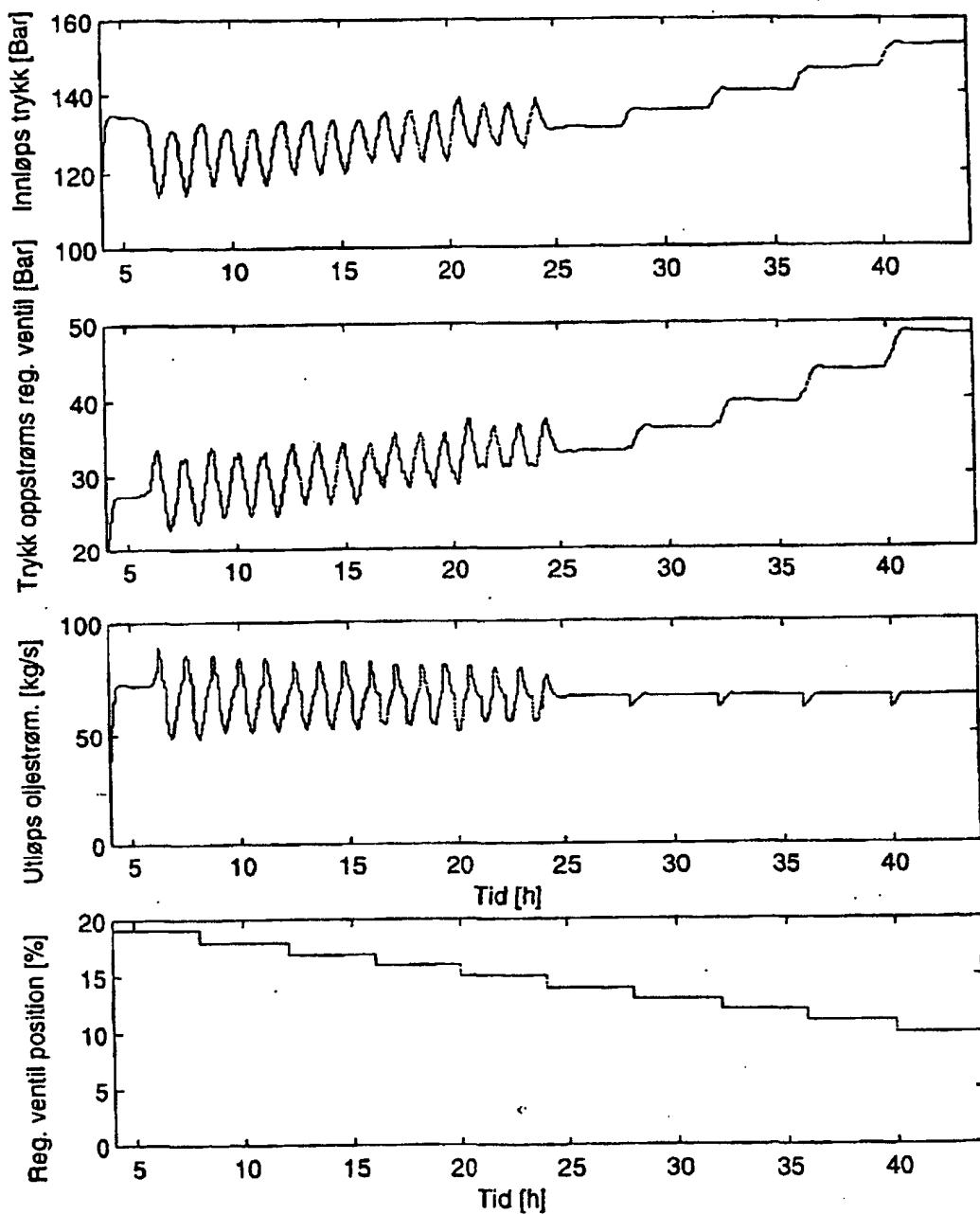


Fig. 15

13/19

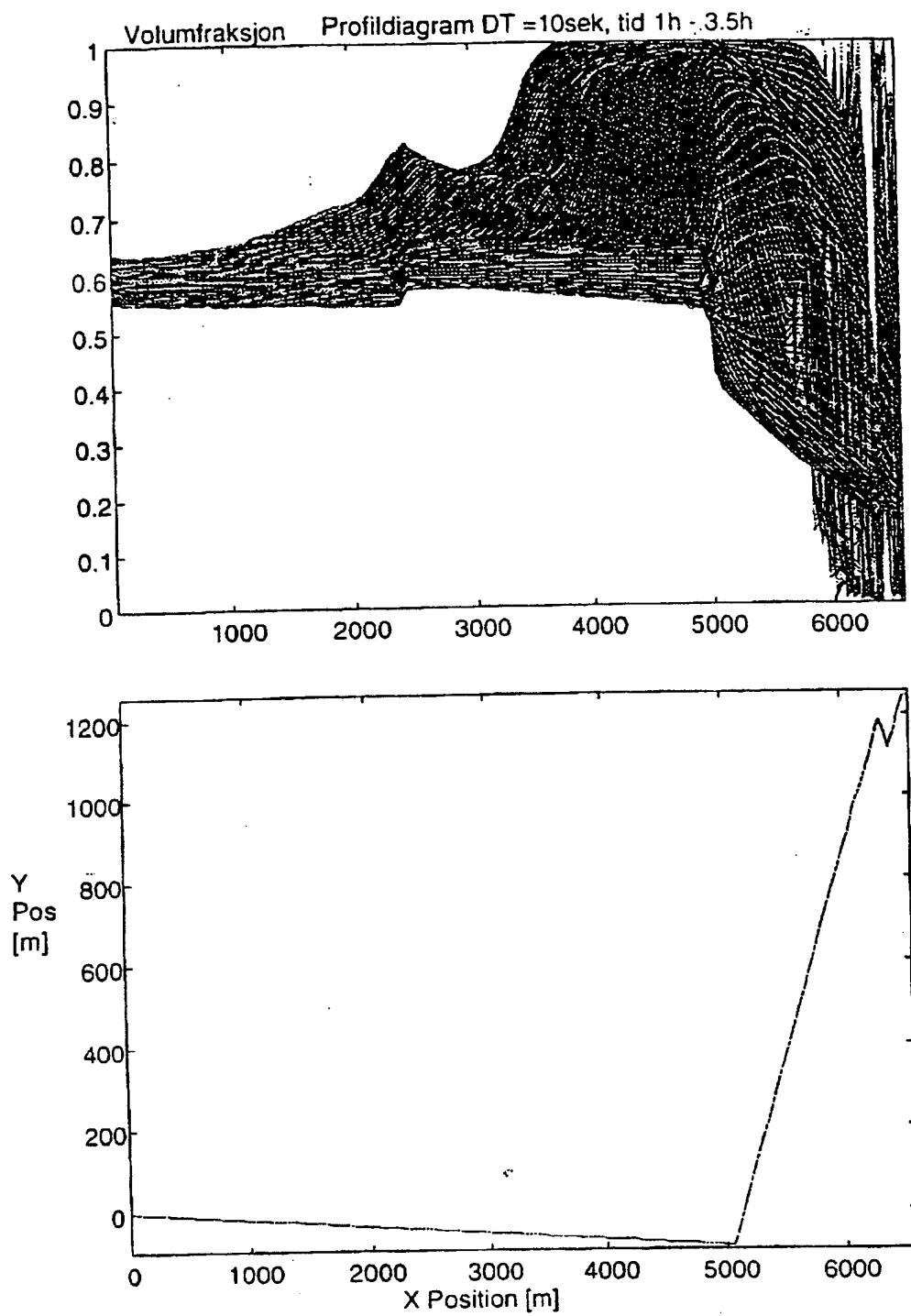


Fig. 16

14/19

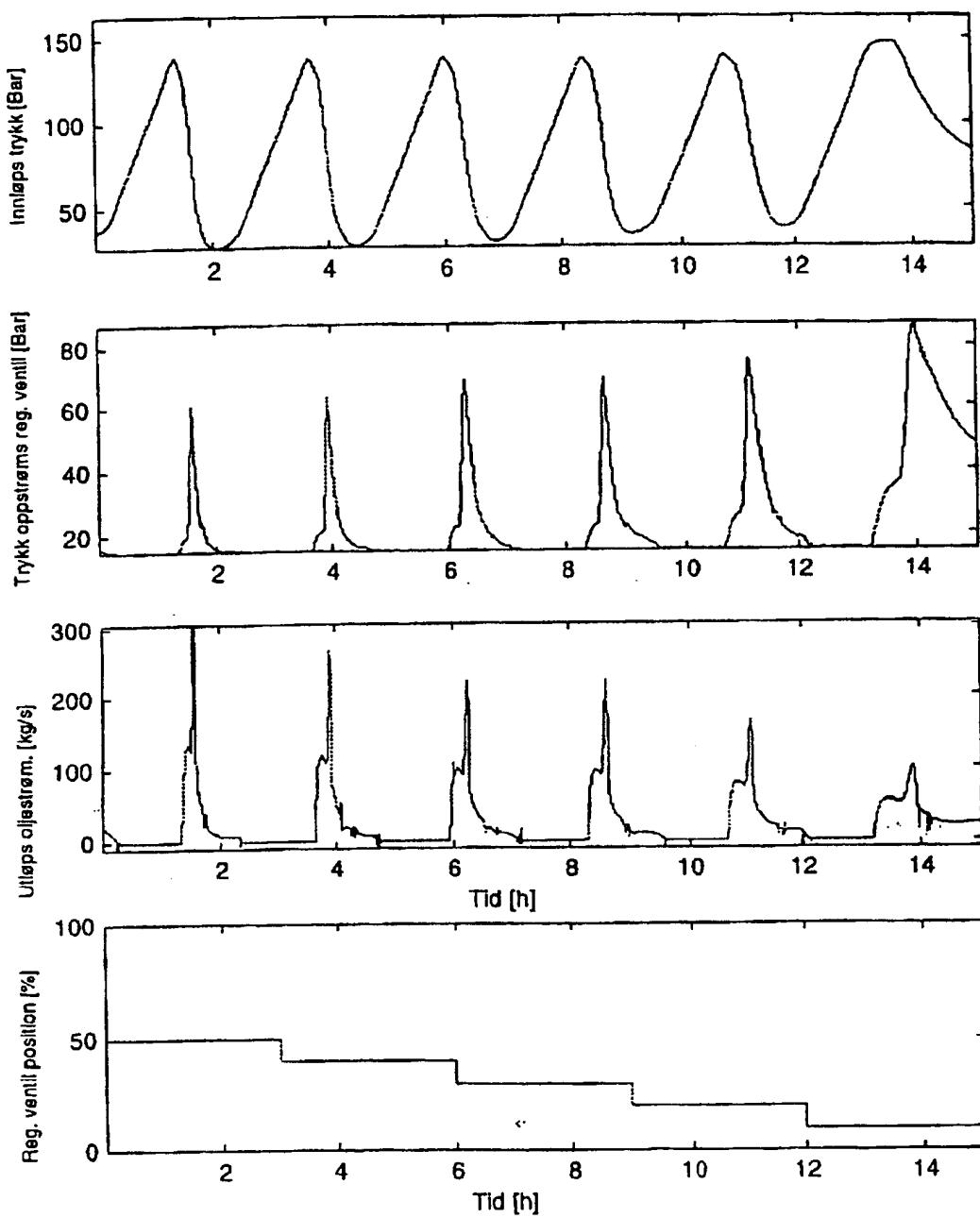


Fig. 17

15/19

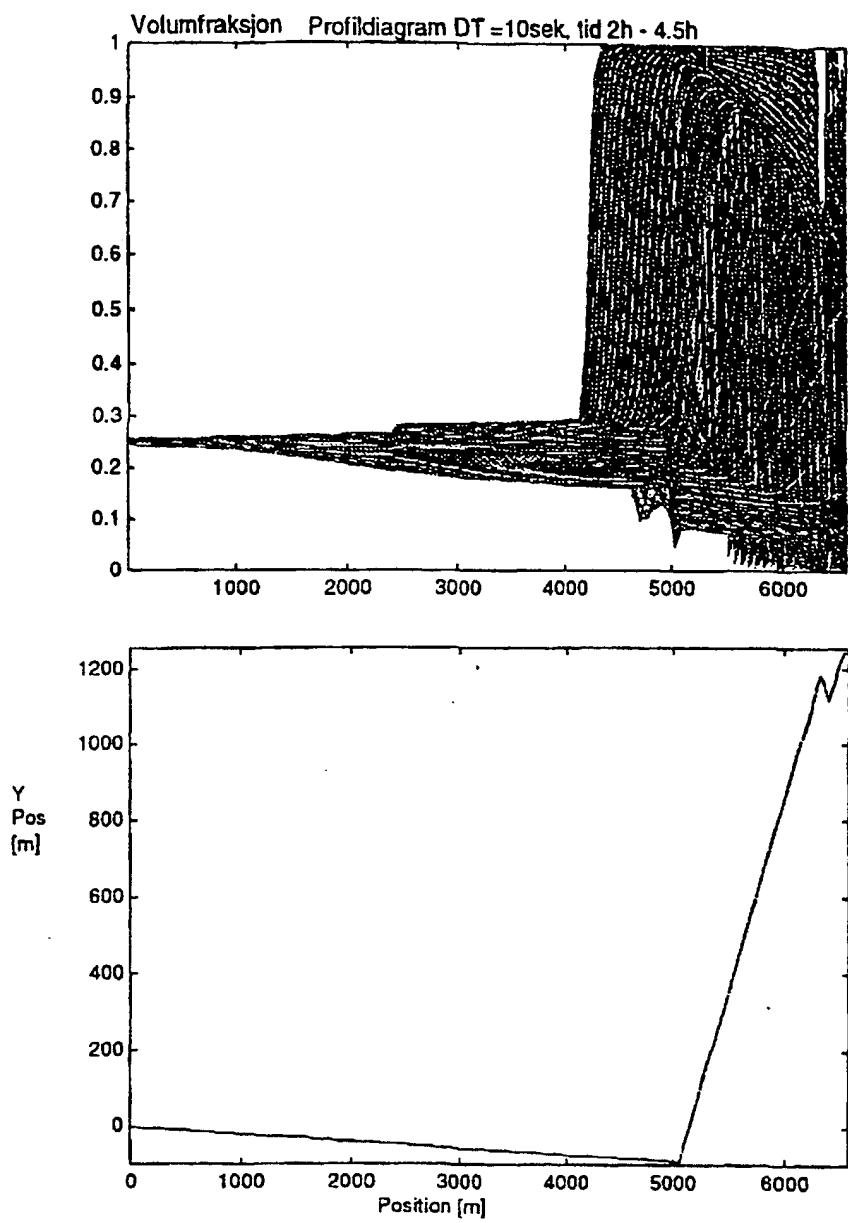


Fig. 18

16/19

Regulatoren i man.

Regulatoren i auto

Regulatoren i man.

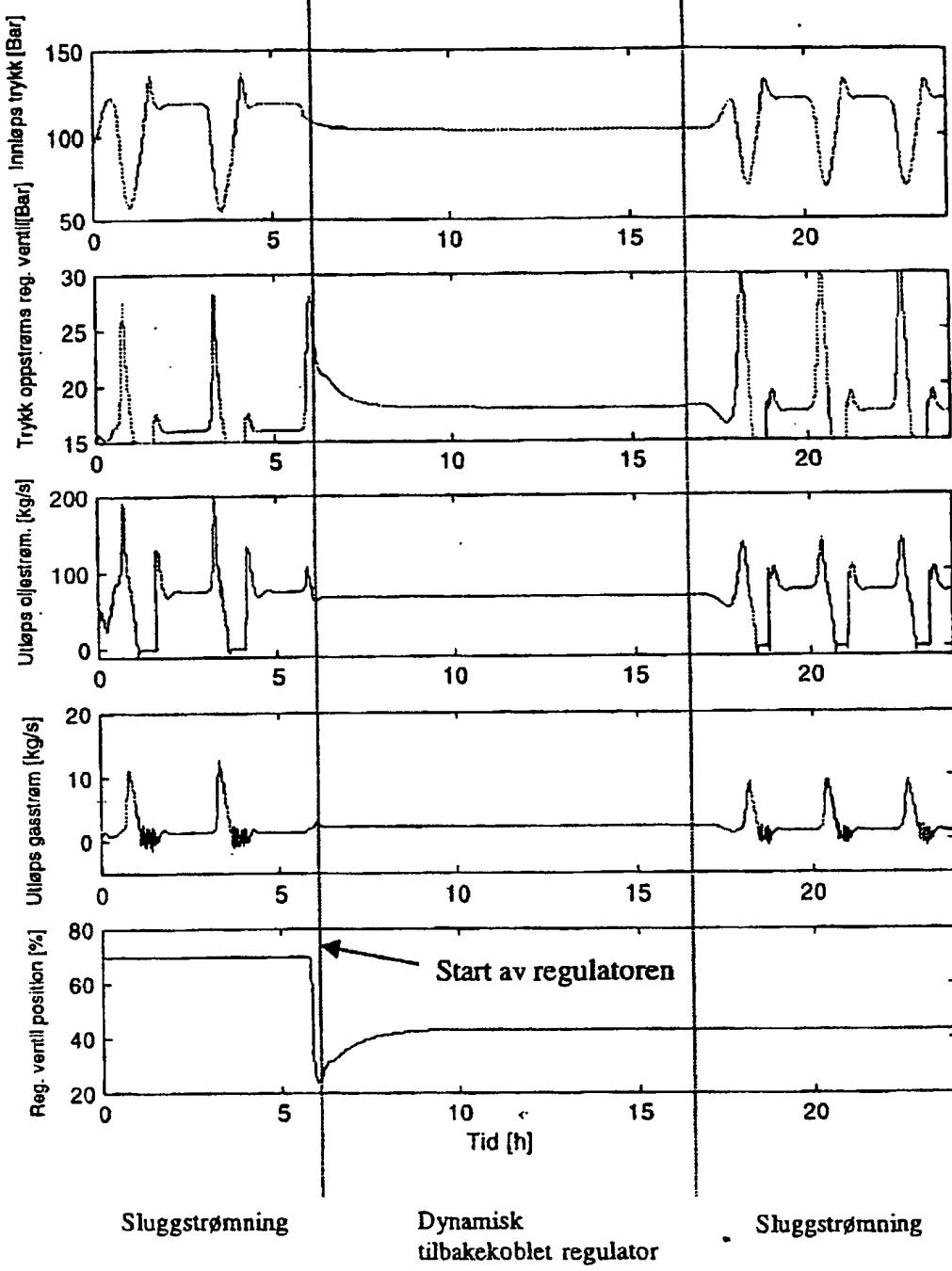


Fig. 19

17/19

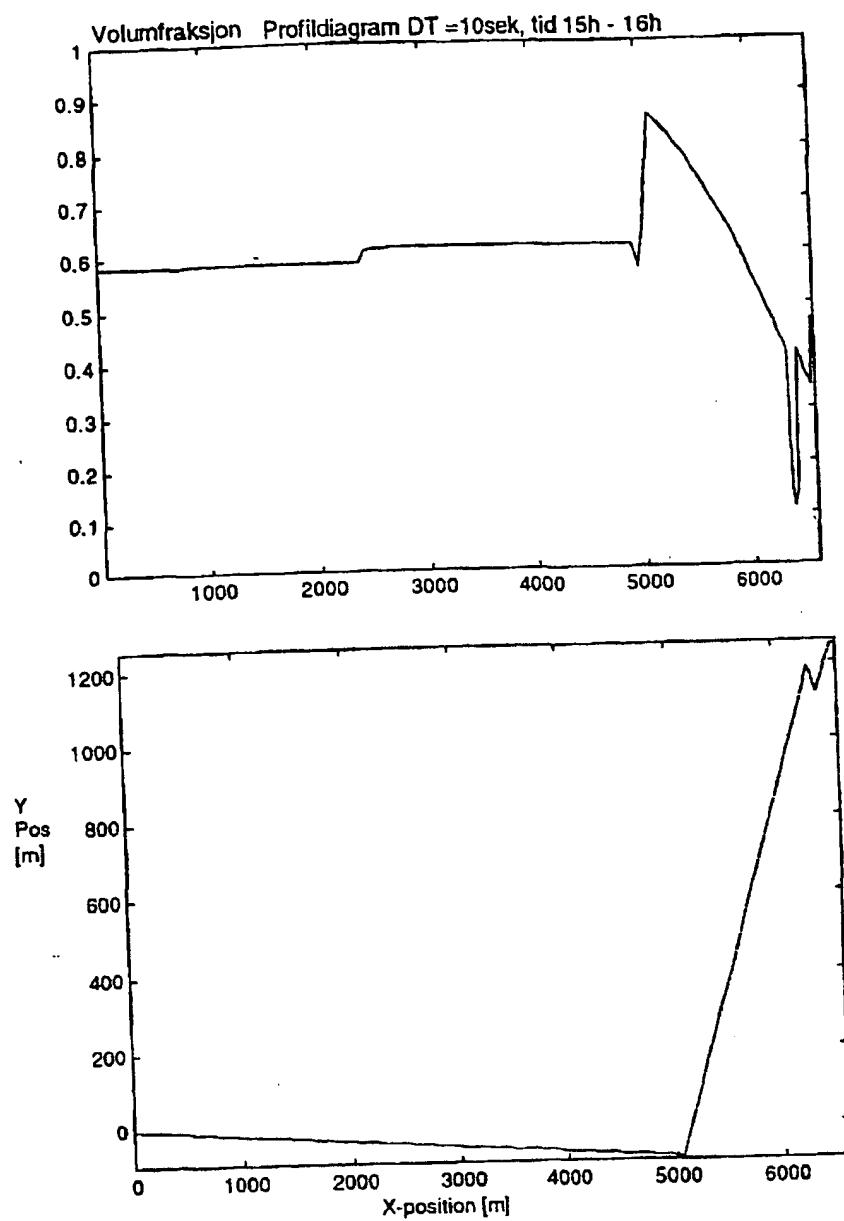


Fig. 20

18/19

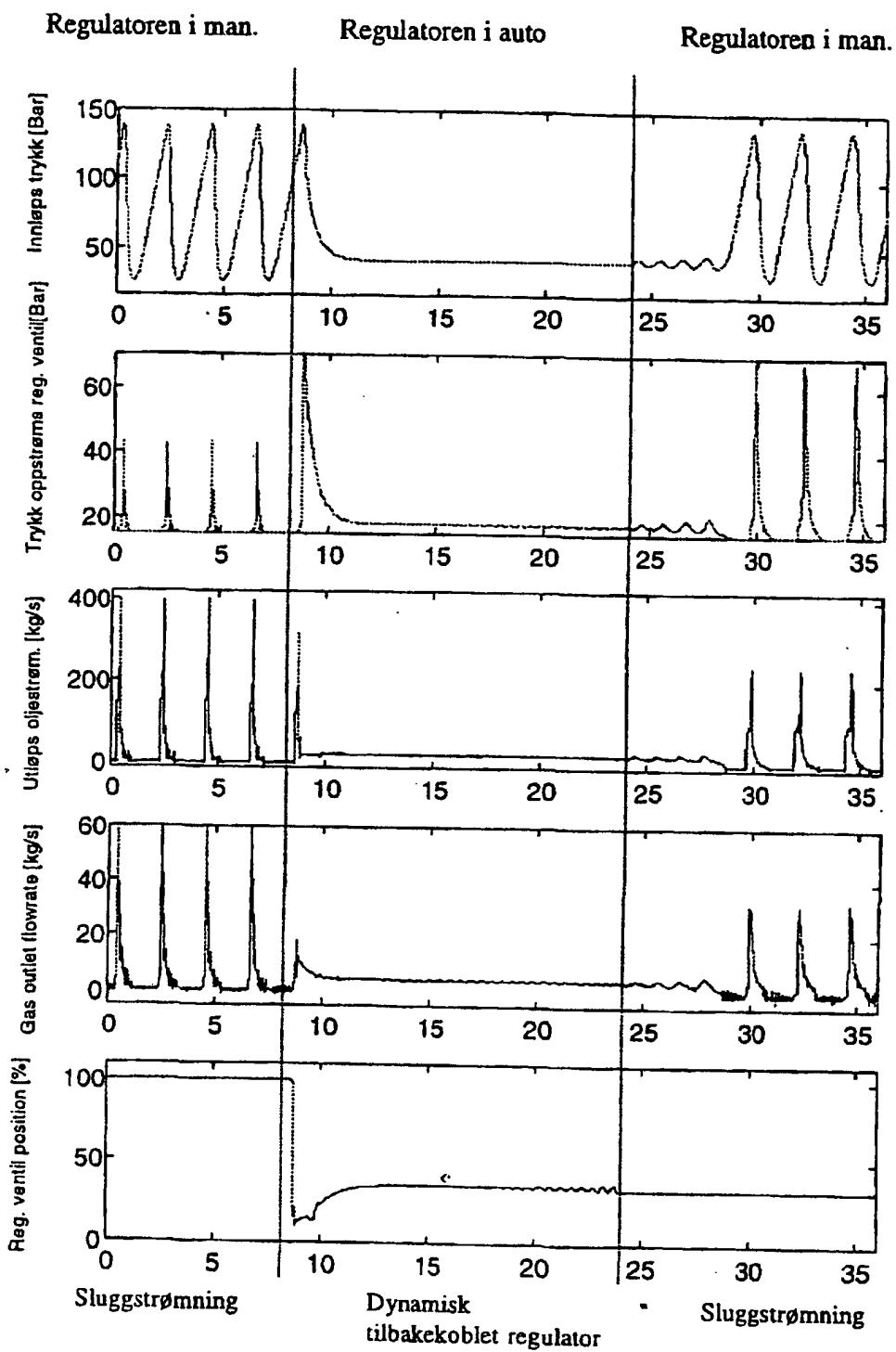


Fig. 21

19/19

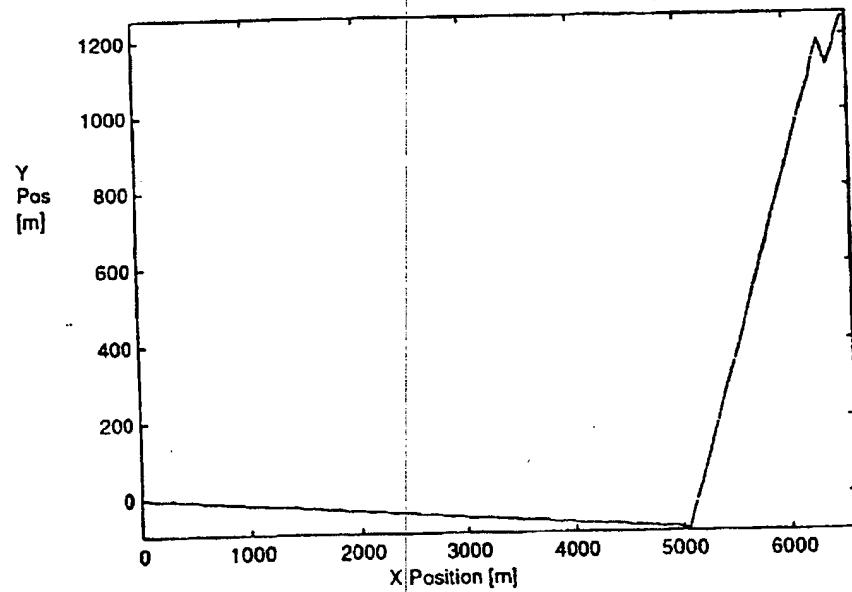
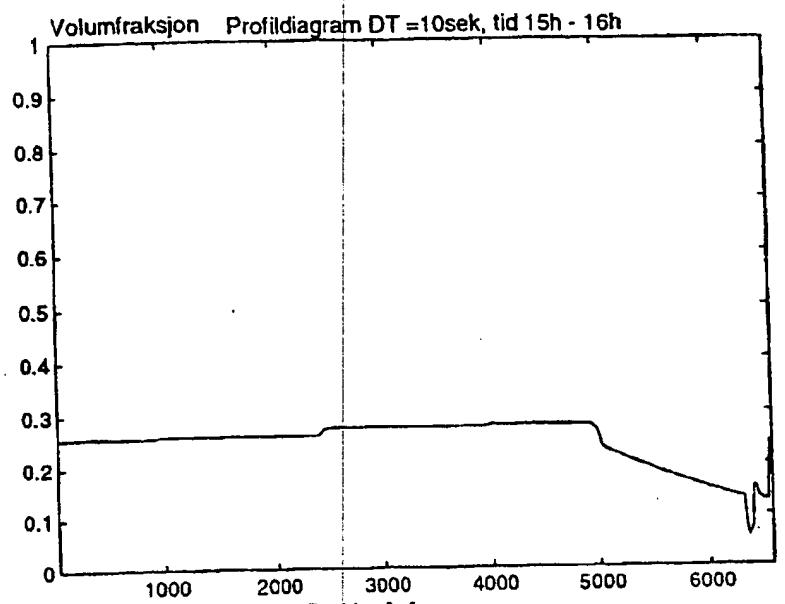


Fig. 22

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**